FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA TEORIA DE JUEGOS COOPERATIVOS

FRANCISCO FABIANY MOLINA BUSTOS
MAGISTER EN TERRITORIO, CONFLICTO Y CULTURA

PREFACIO

La teoría de juegos cooperativos se ha consolidado como una herramienta analítica de gran potencia para entender las dinámicas complejas de cooperación entre agentes económicos, institucionales y sociales que deciden actuar conjuntamente para alcanzar objetivos que, por sí solos, serían imposibles o ineficientes de lograr. Esta obra reúne una serie de desarrollos teóricos, reflexiones analíticas y aplicaciones prácticas del enfoque cooperativo en el marco de contextos estratégicos donde los jugadores comparten metas, recursos, información y riesgos. A través de un discurso académico riguroso, se ha buscado demostrar cómo los principios de racionalidad, compromiso creíble, diseño de incentivos y distribución justa del valor generado, son esenciales para modelar la cooperación en diferentes entornos económicos.

Los diferentes textos aquí integrados exponen con claridad el papel de la racionalidad, tanto limitada como perfecta, en la toma de decisiones colectivas, así como los fundamentos matemáticos de la cooperación estratégica: funciones características, núcleos, valores de Shapley, árboles de decisión, juegos secuenciales y equilibrios mixtos. Estos modelos permiten representar y analizar situaciones tan diversas como la conformación de consorcios, la estructuración de uniones temporales, la articulación de alianzas público-privadas, la constitución de clústeres sectoriales o la participación en procesos de contratación estatal.

Cada sección del desarrollo conceptual está acompañada de ejemplos didácticos, construidos con formalización numérica e interpretación práctica, lo que permite ilustrar la utilidad de la teoría para la resolución de problemas reales. A través de estos ejercicios, se resalta la relevancia del análisis cooperativo en escenarios donde los actores no compiten exclusivamente, sino que descubren ventajas en la coordinación de estrategias, en la consolidación de alianzas y en la generación de valor colectivo sostenible. En estos contextos, la cooperación no es una opción marginal, sino una necesidad estructural para

enfrentar la complejidad del entorno económico, institucional y tecnológico contemporáneo.

Asimismo, se exploran aspectos fundamentales para la sostenibilidad de estas formas de cooperación: la información asimétrica, la verificación mutua, los mecanismos de gobernanza compartida y la distribución equitativa de riesgos y beneficios. La cooperación, para ser efectiva, requiere no solo un acuerdo inicial, sino estructuras que hagan posible su mantenimiento en el tiempo: mecanismos de monitoreo, cláusulas de salida, incentivos cruzados y espacios de deliberación colectiva. En este sentido, la teoría de juegos cooperativos no se limita a describir comportamientos, sino que también permite diseñar instituciones y contratos que promuevan relaciones duraderas y equilibradas.

Especial atención se ha prestado al análisis de los clústeres económicos como estructuras cooperativas territoriales, donde la articulación entre empresas, instituciones educativas, centros de investigación, asociaciones gremiales y organismos públicos da lugar a sistemas dinámicos de innovación y competitividad. Aquí, la cooperación se convierte en un factor clave de desarrollo económico regional, facilitando la generación de externalidades positivas, la provisión de bienes públicos locales, la resiliencia ante crisis y la integración de capacidades diversas en una lógica de valor compartido.

El lector encontrará en este conjunto de textos una base teórica sólida, reforzada con referencias académicas de gran relevancia y trayectoria. La intención ha sido combinar el rigor conceptual con la aplicabilidad práctica, de manera que la teoría de juegos no permanezca en el plano abstracto, sino que dialogue con los desafíos reales de la política pública, la estrategia empresarial y el diseño institucional.

Este trabajo está dirigido a investigadores, estudiantes, formuladores de políticas y profesionales interesados en comprender cómo operan las dinámicas cooperativas en contextos económicos complejos, especialmente en los ámbitos de la contratación pública, el desarrollo regional, la competitividad empresarial y la innovación institucional. También busca ser un aporte para aquellos actores del sector privado y público que enfrentan el reto

de coordinar esfuerzos, asumir riesgos compartidos y construir valor colectivo en escenarios donde la interdependencia es la regla y no la excepción.

Finalmente, este prefacio invita a pensar la cooperación no solo como una estrategia económica eficiente, sino también como un principio organizador de una sociedad más justa, integrada y resiliente. La teoría de juegos cooperativos ofrece un lenguaje para esa construcción colectiva, un método para esa deliberación compartida y un horizonte para imaginar estructuras económicas donde el beneficio común sea posible, medible y sostenible. En este sentido, los textos aquí reunidos no solo explican modelos, sino que también convocan a imaginar nuevas formas de organizar nuestras decisiones colectivas.

ESTRATEGIA COOPERATIVA ÓPTIMA

La teoría de juegos, desde su formulación clásica por John von Neumann y Oskar Morgenstern (1944), se ha consolidado como una herramienta analítica de gran robustez para modelar interacciones estratégicas entre agentes racionales. Dentro de este marco teórico, la distinción entre juegos cooperativos y no cooperativos ha dado lugar a dos grandes líneas de investigación, cada una con supuestos, objetivos y metodologías específicas. En el contexto cooperativo, el análisis se centra en situaciones donde los jugadores pueden formar coaliciones y negociar acuerdos vinculantes, lo que introduce una dimensión colectiva y distributiva que amplía el alcance explicativo del modelo de juego.

La teoría de juegos cooperativos parte de la premisa fundamental de que los jugadores, al cooperar, pueden obtener resultados más beneficiosos que actuando de forma individual. Este enfoque implica no solo la búsqueda de estrategias dominantes, como en los juegos no cooperativos, sino también la determinación de reglas justas de asignación del valor generado por la cooperación. En este sentido, el objetivo común de los jugadores es maximizar el valor colectivo de la coalición y luego distribuirlo de manera equitativa, eficiente y estable.

Uno de los conceptos centrales de la teoría cooperativa es la función característica o función de valor de coalición, la cual asigna a cada subconjunto de jugadores el valor máximo que pueden alcanzar cooperando entre ellos. A partir de este constructo se definen soluciones como el núcleo, el valor de Shapley, la conjunto de imputaciones y otros conceptos derivados que buscan establecer criterios racionales de distribución.

El núcleo, introducido por Gillies (1959), representa el conjunto de asignaciones en el que ningún subconjunto de jugadores tiene incentivos para desviarse, ya que reciben al menos tanto como podrían lograr por su cuenta. La estabilidad que propone el núcleo radica en su enfoque en la eficiencia y en la ausencia de coaliciones bloqueadoras. No obstante, su aplicabilidad está condicionada a la no vacuidad, y no siempre existe una solución en el núcleo para todos los juegos.

El valor de Shapley, propuesto por Lloyd Shapley (1953), constituye una solución única y axiomatizada que reparte el valor total del juego de acuerdo con las contribuciones marginales promedio de cada jugador. Este método, considerado uno de los logros más notables de la teoría, responde a principios de simetría, eficiencia, aditividad y nula contribución. Según Myerson (1991), el valor de Shapley permite una distribución equitativa en tanto que reconoce las diferentes aportaciones individuales al resultado colectivo, siendo especialmente útil en escenarios donde las capacidades y recursos son heterogéneos.

En el marco de la cooperación, también adquieren importancia las nociones de equidad y racionalidad colectiva. Según Elster (1989), la justicia distributiva en contextos cooperativos requiere de acuerdos que no solo se basen en el poder negociador, sino también en criterios normativos que garanticen la legitimidad del reparto. Así, la teoría de juegos cooperativos se sitúa en la intersección entre la racionalidad instrumental y la justicia social, lo que le otorga una profundidad analítica singular.

Otro aporte significativo es la noción de juegos de negociación (bargaining games), desarrollada por Nash (1950), quien plantea un enfoque donde dos jugadores cooperan para dividir un bien de forma tal que se maximicen sus utilidades bajo ciertas restricciones. Este modelo permite representar situaciones de cooperación bilateral con un claro enfoque axiológico, y sirve como base para extenderse a contextos multilateralizados a través de generalizaciones como las de Kalai y Smorodinsky (1975).

Asimismo, la noción de contratos vinculantes y la posibilidad de transferencia de utilidades son elementos definitorios de los juegos cooperativos. Estos permiten establecer compromisos estables entre los jugadores, a diferencia del marco no cooperativo, en el cual los resultados dependen de las estrategias individuales y de la solución de equilibrio. Como afirman Osborne y Rubinstein (1994), esta diferencia ontológica entre ambos marcos redefine la noción de racionalidad: en el contexto cooperativo, la racionalidad no es meramente individual, sino intersubjetiva y orientada a la maximización colectiva.

La aplicabilidad de estos conceptos es vasta. En economía, permite modelar procesos de producción conjunta, alianzas empresariales, formación de mercados y distribución de beneficios. En ciencia política, se ha utilizado para analizar pactos de gobernabilidad, coaliciones legislativas o repartos presupuestarios entre actores territoriales. En contextos de recursos naturales, por ejemplo, la teoría de juegos cooperativos ha servido para establecer mecanismos de cooperación en el uso sostenible del agua, como muestran Dinar y Hogarth (2015), proponiendo soluciones estables entre múltiples usuarios de cuencas hidrográficas.

Desde el punto de vista técnico, la teoría de juegos cooperativos también se ha beneficiado de desarrollos recientes en programación matemática y teoría de redes. Modelos computacionales permiten calcular núcleos, soluciones nucleolares o valores de Shapley en juegos de gran escala, facilitando su aplicación en sistemas complejos. Estas herramientas se utilizan en planificación energética, logística colaborativa y diseño de incentivos en plataformas digitales, donde la cooperación entre agentes resulta indispensable.

Es importante destacar que la cooperación en la teoría de juegos no se basa exclusivamente en la confianza, sino en estructuras institucionales, reglas contractuales y diseños de mecanismos que garanticen el cumplimiento de los acuerdos. Así, como indica Maskin (2003), la ingeniería de incentivos es crucial para asegurar la sostenibilidad de las coaliciones, minimizando el riesgo de deserción y promoviendo entornos estables de interacción estratégica.

En el terreno de la ética aplicada, algunos autores como Sen (2009) han destacado el potencial normativo de los juegos cooperativos como modelos para la justicia distributiva en sistemas democráticos. Al centrarse en resultados mutuamente beneficiosos y en principios de equidad, esta teoría contribuye a fundamentar decisiones colectivas más justas, transparentes y aceptables para los diferentes actores.

Por último, es necesario considerar que la cooperación no es un proceso automático ni espontáneo: requiere voluntad, capacidad de coordinación, y condiciones estructurales

favorables. La asimetría de información, la heterogeneidad de preferencias o la desconfianza histórica entre los actores pueden dificultar la formación de coaliciones estables. Por tanto, el análisis cooperativo no solo es un ejercicio matemático, sino también un compromiso político y cultural que requiere mediaciones institucionales y diálogo entre actores diversos.

A modo de reflexión, puede afirmarse que la teoría de juegos cooperativos, lejos de ser un modelo meramente teórico, constituye un paradigma robusto para comprender las dinámicas de cooperación estratégica en contextos complejos y diversos. Su riqueza reside en articular racionalidad, justicia, eficiencia y estabilidad, permitiendo no solo prever resultados, sino también diseñar mecanismos justos de cooperación entre agentes con intereses potencialmente divergentes. En un mundo crecientemente interdependiente, donde los desafíos colectivos requieren soluciones colaborativas, el pensamiento cooperativo emerge como una brújula teórica imprescindible para navegar la complejidad social contemporánea.

RACIONALIDAD ESTRATÉGICA EN COOPERACIÓN

La teoría de juegos ha sido una de las herramientas más significativas en el análisis de las decisiones estratégicas. Su estructura lógica permite comprender cómo interactúan los agentes racionales bajo condiciones de interdependencia, incertidumbre y conflicto, así como también de cooperación. En el campo específico de los juegos cooperativos, donde los jugadores pueden formar coaliciones vinculantes y comprometerse con acuerdos colectivos, surge una interrogante central para la filosofía, la economía y las ciencias sociales: ¿qué significa actuar racionalmente en estos contextos? Esta pregunta adquiere especial relevancia cuando se consideran dos concepciones distintas de racionalidad: la racionalidad perfecta y la racionalidad limitada. Comprender su alcance, diferencias y aplicaciones prácticas permite una mayor apreciación de los matices del comportamiento humano cuando el interés individual debe alinearse con fines colectivos.

Desde la formulación clásica de la teoría de juegos por von Neumann y Morgenstern (1944), la racionalidad se ha entendido en términos de maximización: los jugadores seleccionan las estrategias que maximizan su utilidad esperada, basándose en toda la información disponible. Esta visión de racionalidad perfecta parte del supuesto de agentes con capacidades cognitivas ilimitadas, acceso pleno a la información y una estructura de preferencias bien definida y estable. En contraste, la racionalidad limitada, concepto introducido por Herbert Simon (1955), reconoce las restricciones cognitivas, informacionales y temporales que enfrentan los agentes reales. Bajo esta perspectiva, los individuos no buscan la mejor solución posible, sino una que sea lo suficientemente buena dentro de los límites de su comprensión y recursos.

Cuando estos enfoques se trasladan a los juegos cooperativos, su impacto no solo es metodológico sino también normativo: afectan la forma en que los jugadores deciden colaborar, el tipo de acuerdos que aceptan y los criterios de equidad o estabilidad que consideran aceptables. En este contexto, actuar racionalmente no implica únicamente maximizar un beneficio individual, sino también evaluar si la cooperación es preferible al comportamiento independiente y cómo debe distribuirse el valor generado por la coalición.

Racionalidad perfecta en juegos cooperativos

Bajo la racionalidad perfecta, se asume que los jugadores pueden prever todas las posibles coaliciones, calcular exactamente el valor que cada coalición puede generar, y anticipar el comportamiento de los demás jugadores. Esta capacidad les permite identificar asignaciones eficientes y estables, es decir, aquellas en las que ningún subconjunto de jugadores desee desviarse porque recibe al menos lo que obtendría actuando por su cuenta. El núcleo del juego se convierte entonces en una herramienta natural para formalizar esta idea de racionalidad estratégica cooperativa.

Supongamos un juego cooperativo de tres jugadores AA, BB y CC, cuya función característica se define así:

- v({A})=10v(\{A\}) = 10
- v({B})=20v(\{B\}) = 20
- v({C})=30v(\{C\}) = 30
- v({A,B})=45v(\{A, B\}) = 45
- v({A,C})=50v(\{A, C\}) = 50
- v({B,C})=60v(\{B, C\}) = 60
- v({A,B,C})=90v(\{A, B, C\}) = 90

Bajo racionalidad perfecta, los jugadores conocen todos estos valores y analizan la distribución del valor total v({A,B,C})=90v(\{A,B,C\}) = 90 de manera que ninguna coalición tenga incentivos para separarse.

Una imputación (xA,xB,xC)(x_A, x_B, x_C) pertenece al núcleo si cumple:

- Eficiencia: xA+xB+xC=90x_A + x_B + x_C = 90
- Racionalidad individual: xA≥10, xB≥20, xC≥30x_A \geq 10, \ x_B \geq 20, \ x_C \geq 30
- Racionalidad colectiva:
    - xA+xB≥45x_A + x_B \geq 45
    - xA+xC≥50x_A + x_C \geq 50
    - xB+xC≥60x_B + x_C \geq 60

Una asignación como (20,30,40)(20, 30, 40) cumple todos los requisitos anteriores. Bajo racionalidad perfecta, los jugadores pueden llegar a este resultado porque todos son capaces de identificar y razonar sobre todas las combinaciones posibles, calculando con precisión la estabilidad de las imputaciones.

Racionalidad limitada en juegos cooperativos

Frente a este ideal de cálculo y previsión total, la racionalidad limitada introduce una visión más realista. Los jugadores pueden no tener acceso a toda la información, no entender completamente la estructura del juego, o simplemente no poseer la capacidad de procesar

escenarios múltiples. En estos casos, el proceso de negociación y asignación del valor se basa en heurísticas, reglas de justicia percibida, confianza interpersonal, mecanismos de reputación, y mecanismos institucionales.

Supongamos el mismo juego anterior, pero ahora los jugadores no conocen con precisión todos los valores de las coaliciones. Saben sus valores individuales, el valor total de la coalición, y tienen información parcial o estimaciones sobre algunas coaliciones intermedias. Además, tienen aversión al conflicto, preferencia por acuerdos rápidos y cierta miopía cognitiva que impide evaluar todas las alternativas.

En estas condiciones, los jugadores podrían usar un criterio de reparto proporcional a las contribuciones individuales percibidas. Por ejemplo, si consideran que sus valores individuales representan sus "pesos", podrían acordar:

- Total individual: 10+20+30=60\text{Total individual: } 10 + 20 + 30 = 60
- xA=1060×90=15x_A = \frac{10}{60} \times 90 = 15
- xB=2060×90=30x_B = \frac{20}{60} \times 90 = 30
- xC=3060×90=45x_C = \frac{30}{60} \times 90 = 45

Esta asignación (15,30,45)(15, 30, 45), aunque puede no estar en el núcleo según la función característica real, es aceptada por todos porque satisface un criterio que consideran justo, es fácil de calcular y evita negociaciones extensas. En este sentido, actuar racionalmente bajo racionalidad limitada significa conformarse con una solución aceptable, aunque no necesariamente óptima o estable en el sentido formal del modelo.

Este enfoque se alinea con el concepto de satisfacción de Simon, según el cual los agentes eligen la primera alternativa que satisface un umbral aceptable, en lugar de buscar la mejor posible. En la cooperación, esto puede significar aceptar un reparto "lo suficientemente justo" en vez de uno perfectamente eficiente o inmunizado frente a desviaciones.

COMPARACIÓN DE AMBAS RACIONALIDADES EN COOPERACIÓN

Una diferencia clave entre ambos enfoques radica en la capacidad de cálculo y anticipación. Bajo racionalidad perfecta, los jugadores maximizan con conocimiento pleno, como si fueran computadoras racionales. Bajo racionalidad limitada, operan con intuiciones, normas sociales y decisiones por aproximación.

Otra distinción central es el tratamiento del conflicto. En la racionalidad perfecta, el juego se resuelve estratégicamente con cálculos racionales y fríos. En la racionalidad limitada, el conflicto puede evitarse mediante normas de equidad culturalmente aceptadas o mecanismos institucionales que medien la cooperación.

Por ejemplo, en un consorcio de empresas que desarrollan un proyecto tecnológico conjunto, la asignación de recursos y beneficios puede hacerse con modelos cooperativos formales, si todas las partes tienen analistas que procesan las opciones estratégicas (racionalidad perfecta). Pero también puede depender de negociaciones informales, percepciones de equidad histórica, o compromisos previos no cuantificados (racionalidad limitada). Ambos caminos son racionales dentro de sus respectivos marcos de referencia.

Además, en contextos donde la cooperación involucra más de tres jugadores o se desarrolla en condiciones de incertidumbre o cambio, la racionalidad limitada gana relevancia. Es improbable que los actores tengan el poder de cómputo para analizar todas las coaliciones posibles. Por ello, se adoptan mecanismos como el uso del valor de Shapley estimado o el establecimiento de cuotas predeterminadas que simplifican la toma de decisiones.

Por ejemplo, en la gestión de cuencas hidrográficas compartidas por varias comunidades, el uso de métodos de reparto cooperativo se ve limitado por la falta de datos completos, la presencia de actores con diferentes capacidades técnicas, y la existencia de conflictos históricos. En tales casos, las decisiones cooperativas se basan en aproximaciones

consensuales, participación comunitaria y criterios simbólicos de justicia. No se abandona la racionalidad, pero se redefine en función de lo posible.

A través del contraste entre racionalidad perfecta y limitada en los juegos cooperativos, se revela una tensión fundamental en la toma de decisiones colectivas: entre el ideal de maximización plena y la necesidad de adaptarse a condiciones humanas reales. Actuar racionalmente no es una única ruta, sino una estrategia contextual que puede adoptar múltiples formas según las capacidades, información y valores en juego. En escenarios donde los jugadores buscan alcanzar un objetivo común, la cooperación se convierte en un espacio donde la razón opera no sólo como cálculo, sino como construcción social, como negociación, y como pragmatismo. Ambas formas de racionalidad, lejos de ser excluyentes, pueden complementarse para diseñar procesos cooperativos más efectivos, humanos y sostenibles.

REPRESENTACIÓN ESTRATÉGICA COOPERATIVA

La teoría de juegos cooperativos constituye un pilar fundamental en el análisis formal de las decisiones colectivas. En contraste con los juegos no cooperativos, donde los jugadores actúan individualmente y toman decisiones estratégicas con base en sus propios intereses sin acuerdos vinculantes, los juegos cooperativos permiten la formación de coaliciones, negociaciones entre jugadores y la posibilidad de lograr un beneficio común distribuido bajo reglas específicas. En este contexto, los jugadores colaboran para alcanzar un objetivo común, y el foco analítico se traslada desde la competencia hacia la colaboración, la asignación justa del valor colectivo y la estabilidad del acuerdo alcanzado.

Uno de los aspectos esenciales en la formalización de los juegos cooperativos es su representación estructural, ya que facilita la comprensión de las estrategias, los posibles resultados y las interacciones entre los jugadores. Dos representaciones clásicas —las matrices de pagos y los árboles de decisión— ofrecen esquemas distintos pero complementarios para ilustrar cómo los jugadores pueden formar acuerdos estratégicos y tomar decisiones conjuntas. Aunque históricamente se han utilizado principalmente en

juegos no cooperativos, su adaptación al marco cooperativo resulta valiosa para analizar procesos de negociación, formación de coaliciones y asignación del beneficio conjunto.

REPRESENTACIÓN MATRICIAL EN JUEGOS COOPERATIVOS

La presentación de juegos mediante matrices de pagos permite organizar la información sobre las posibles acciones de los jugadores y sus consecuencias en un formato tabular. En los juegos no cooperativos, estas matrices muestran las ganancias que recibe cada jugador según las estrategias que elijan todos los participantes. En el contexto cooperativo, sin embargo, la matriz puede adaptarse para representar coaliciones posibles y el valor o ganancia colectiva que cada combinación de jugadores puede alcanzar al actuar conjuntamente.

Consideremos un juego con tres jugadores: AA, BB y CC. La matriz no muestra aquí estrategias individuales sino valores de coaliciones. La función característica vv define el valor de cada coalición S⊆NS \subseteq N, donde N={A,B,C}N = \{A, B, C\}. Los valores se presentan en una tabla para representar los posibles acuerdos y sus beneficios conjuntos.

Coalición	Valor v(S)v(S)
{A}\{A\}	10
{B}\{B\}	15
{C}\{C\}	20
{A,B}\{A, B\}	35
{A,C}\{A, C\}	38
{B,C}\{B, C\}	42
{A,B,C}\{A, B, C\}	60

Esta tabla expresa el valor que puede alcanzar cada coalición. El objetivo central del juego cooperativo no es elegir una estrategia unilateralmente, sino negociar una asignación del valor total de la gran coalición v(N)=60v(N) = 60 entre los tres jugadores, de forma que sea eficiente, equitativa y estable. La eficiencia exige que la suma de las asignaciones sea igual

al valor de la coalición total; la equidad busca que la distribución refleje el aporte marginal de cada jugador; y la estabilidad se alcanza si ningún subconjunto de jugadores prefiere separarse y formar su propia coalición.

Por ejemplo, si se propone una distribución (xA,xB,xC)=(18,20,22)(x_A, x_B, x_C) = (18, 20, 22), esta cumple con la eficiencia (la suma da 60), pero se requiere verificar si ninguna coalición alternativa genera mejores resultados para alguno de los subconjuntos. Para ello, se compara:

- xA+xB=38<v({A,B})=35x_A + x_B = 38 < v(\{A,B\}) = 35: cumple
- xA+xC=40<v({A,C})=38x_A + x_C = 40 < v(\{A,C\}) = 38: cumple
- xB+xC=42=v({B,C})=42x_B + x_C = 42 = v(\{B,C\}) = 42: indiferente

Si ningún subconjunto mejora desviándose, la distribución es estable y forma parte del núcleo del juego.

La representación matricial, entonces, no solo organiza los valores de las coaliciones, sino que permite aplicar criterios formales como el núcleo, el conjunto de imputaciones, o el valor de Shapley, los cuales ayudan a encontrar asignaciones que los jugadores aceptarían racionalmente.

ÁRBOLES DE DECISIÓN EN JUEGOS COOPERATIVOS

Mientras que la matriz condensa toda la información simultáneamente, el árbol de decisión presenta la estructura del juego de manera secuencial, ilustrando el orden de las acciones, los puntos de decisión, las alternativas disponibles y los resultados asociados. Aunque es más común en juegos extensivos no cooperativos, los árboles también pueden adaptarse a juegos cooperativos donde los jugadores negocian de forma progresiva o deciden si unirse a coaliciones en etapas.

Consideremos un escenario donde tres empresas AA, BB y CC pueden colaborar en el desarrollo de un proyecto conjunto. Cada empresa puede decidir si entrar o no a la

cooperación, y el orden en que se unen afecta la percepción de sus contribuciones marginales.

Ejemplo en forma de árbol:

1. Nodo 1: Empresa AA decide si iniciar el proyecto sola o esperar a formar alianza.
2. Si decide cooperar sola: v({A})=10v(\{A\}) = 10
3. Si espera, pasa al Nodo 2: Empresa BB entra.
4. Si BB entra sin AA: v({B})=15v(\{B\}) = 15
5. Si se forma {A,B}\{A,B\}: v({A,B})=35v(\{A,B\}) = 35
6. Luego entra CC, lo que lleva a v({A,B,C})=60v(\{A,B,C\}) = 60

Este árbol permite analizar cómo se forman las coaliciones de manera secuencial, y cómo cada paso afecta el valor generado por la cooperación. A su vez, ilustra las contribuciones marginales de cada jugador: cuánto valor añade cada uno al ingresar en la coalición ya formada. Este razonamiento es el fundamento del valor de Shapley, que promedia todas las posibles contribuciones marginales para distribuir equitativamente el beneficio total.

En este ejemplo:

- Si AA entra primero, su contribución marginal es 1010
- Si BB entra luego, añade 2525 (de 10 a 35)
- Si CC entra después, añade 2525 (de 35 a 60)

Otra secuencia:

- Si CC entra primero: 2020
- AA entra luego: 1818 (de 20 a 38)
- BB: 2222 (de 38 a 60)

El árbol permite trazar todas las secuencias posibles, calcular las contribuciones marginales en cada una, y promediar para obtener una distribución cooperativa que refleje el aporte

dinámico de cada jugador. Este enfoque secuencial muestra que la cooperación no solo depende de las capacidades individuales, sino también del momento y el contexto de entrada al proceso colectivo.

Además, el árbol de decisión revela que en los juegos cooperativos muchas decisiones son interdependientes. El ingreso de un jugador puede alterar los incentivos de los demás y modificar la estructura de coalición final. El diseño de mecanismos de entrada, reglas de participación y criterios de reparto son entonces fundamentales para preservar la cooperación.

APLICACIONES ANALÍTICAS DE AMBAS REPRESENTACIONES

La combinación de matrices y árboles proporciona una base sólida para entender la cooperación estratégica. Las matrices son útiles para calcular núcleos, imputaciones, nucleolos y el valor de Shapley en juegos estáticos con información completa. Los árboles son valiosos para representar negociaciones dinámicas, decisiones secuenciales y juegos con incertidumbre o información incompleta.

Por ejemplo, en el contexto de la gestión ambiental cooperativa, las comunidades que comparten un recurso natural (como un río o una reserva forestal) pueden representarse en una matriz de coaliciones para valorar diferentes configuraciones de cooperación. Pero si el proceso de incorporación es progresivo (primero dos comunidades acuerdan colaborar, luego invitan a una tercera), el árbol de decisión ilustra mejor los dilemas estratégicos de entrada, reparto de beneficios y riesgo moral.

Asimismo, en contextos como la distribución de costos de infraestructura conjunta, las decisiones suelen ser interactivas y temporales. Las matrices permiten calcular repartos justos con base en funciones características; los árboles ilustran el proceso negociador y cómo ciertas decisiones iniciales condicionan la formación de acuerdos posteriores.

Estas herramientas gráficas no son solamente representaciones didácticas: permiten aplicar modelos formales, extraer predicciones empíricas y diseñar mecanismos de cooperación

óptimos. Por ello, tanto economistas como ingenieros, politólogos y expertos en política pública las utilizan en el análisis y resolución de conflictos cooperativos reales.

La representación de los juegos cooperativos mediante matrices y árboles de decisión enriquece la comprensión de los procesos estratégicos en los que los jugadores persiguen objetivos comunes. Mientras que las matrices permiten una visión estática, compacta y analíticamente poderosa del valor que puede generar cada coalición, los árboles de decisión introducen una dimensión temporal, secuencial y contextual que revela los matices del proceso cooperativo. Ambas herramientas, lejos de ser meramente ilustrativas, operan como modelos formales que guían la toma de decisiones, el diseño de reglas justas y el aseguramiento de la estabilidad en coaliciones. En los entornos complejos donde las decisiones deben tomarse en conjunto —desde empresas hasta comunidades, desde instituciones hasta países— estas representaciones permiten a los actores visualizar el impacto de su cooperación, evaluar los riesgos de deserción y construir acuerdos sustentados en el análisis estratégico más riguroso.

ESTRATEGIAS EN COOPERACIÓN RACIONAL

La teoría de juegos cooperativos ofrece un marco estructurado para analizar cómo múltiples agentes, racionales e interdependientes, pueden coordinar sus decisiones con el fin de alcanzar un beneficio conjunto. En contraste con los juegos no cooperativos, donde los jugadores actúan por separado sin posibilidad de compromisos vinculantes, los juegos cooperativos suponen la existencia de acuerdos estables entre los participantes. Estos acuerdos permiten formar coaliciones, repartir los beneficios del esfuerzo común y garantizar que ninguna subcoalición tenga incentivos para desviarse del acuerdo general. Este marco se enriquece cuando se introducen elementos conceptuales clásicos como las estrategias dominantes, la dominancia débil y los equilibrios en estrategias mixtas, los cuales, aunque nacidos en la teoría no cooperativa, pueden adaptarse al estudio de decisiones estratégicas dentro del contexto cooperativo.

La noción de estrategia dominante es un concepto esencial en la teoría de juegos: se refiere a una estrategia que proporciona a un jugador un resultado al menos tan bueno como cualquier otra, sin importar lo que hagan los demás. En su forma más fuerte, esta estrategia es siempre la mejor, independientemente de las decisiones del resto. En el caso de los juegos cooperativos, cuando se permiten acuerdos vinculantes, la estrategia dominante puede tomar la forma de una decisión colectiva que maximiza el valor global de la coalición y asegura que cada jugador reciba al menos tanto como podría ganar por sí solo.

ESTRATEGIAS DOMINANTES EN JUEGOS COOPERATIVOS

Imaginemos un juego con tres jugadores AA, BB y CC, que pueden formar coaliciones para realizar un proyecto común. La función característica vv asigna valores a cada posible coalición:

- v({A})=5v(\{A\}) = 5
- v({B})=10v(\{B\}) = 10
- v({C})=15v(\{C\}) = 15
- v({A,B})=25v(\{A,B\}) = 25
- v({A,C})=30v(\{A,C\}) = 30
- v({B,C})=35v(\{B,C\}) = 35
- v({A,B,C})=50v(\{A,B,C\}) = 50

La coalición {A,B,C}\{A,B,C\} tiene el mayor valor posible. En este contexto, una estrategia dominante cooperativa es aquella en la que todos los jugadores acuerdan unirse en la gran coalición NN, ya que les proporciona mayores beneficios que cualquier otra subcoalición. Esta estrategia puede entenderse como dominante en el sentido colectivo, pues ninguno de los jugadores puede obtener más actuando de forma independiente o en grupos más pequeños.

La representación de este juego en forma matricial puede organizarse para mostrar los valores de cada coalición posible:

Coalición	Valor v(S)v(S)
{A}\{A\}	5
{B}\{B\}	10
{C}\{C\}	15
{A,B}\{A, B\}	25
{A,C}\{A, C\}	30
{B,C}\{B, C\}	35
{A,B,C}\{A, B, C\}	50

Si todos los jugadores conocen esta matriz y asumen comportamiento racional, la gran coalición será la opción seleccionada de forma dominante. A partir de allí, la discusión se centra en cómo distribuir el valor total v(N)=50v(N) = 50 entre los jugadores, respetando criterios de equidad y estabilidad.

DOMINANCIA DÉBIL Y COOPERACIÓN PARCIAL

Mientras que la estrategia dominante garantiza un mejor resultado sin importar lo que hagan los demás, una estrategia débilmente dominante es aquella que nunca es peor y a veces es mejor que cualquier otra estrategia. En términos cooperativos, esto se traduce en escenarios donde unirse a una coalición más grande no empeora el resultado de un jugador y, en algunas configuraciones, mejora significativamente su posición.

Supongamos que un jugador AA, al considerar si colaborar con BB o con BB y CC, observa que la coalición con los tres no le garantiza una mejora sustancial respecto a formar una alianza con BB solamente. Sin embargo, unirse a la gran coalición no lo perjudica y puede ofrecer ventajas adicionales dependiendo de la distribución final de los beneficios.

En esta lógica, la entrada en coaliciones mayores puede verse como una estrategia débilmente dominante, especialmente en contextos de racionalidad limitada, donde los jugadores no pueden predecir todas las consecuencias de sus elecciones, pero saben que ciertas alianzas no los perjudicarán.

En términos de árboles de decisión, esto puede representarse con un modelo secuencial. Supongamos que los jugadores deciden unirse a la cooperación en etapas:

1. Nodo 1: AA elige colaborar con BB o esperar a que CC también se sume.
2. Si colabora con BB: obtiene 12 (de un total de 25 compartido con BB)
3. Si espera y luego forma coalición con BB y CC: obtiene 16 (de un total de 50)
4. Si CC no entra, se queda con 0

La decisión de AA entre una ganancia segura y una posible mejora representa una dominancia débil: su decisión depende de su aversión al riesgo y su confianza en la cooperación futura. La dominancia débil se vuelve relevante en entornos donde la formación de coaliciones depende del orden y del contexto, más que de la maximización global.

EQUILIBRIO EN ESTRATEGIAS MIXTAS Y COOPERACIÓN

En la teoría de juegos no cooperativos, el equilibrio en estrategias mixtas se refiere a situaciones donde los jugadores asignan probabilidades a sus posibles decisiones, de modo que ningún jugador tenga incentivos para cambiar unilateralmente su distribución probabilística. Aunque en los juegos cooperativos los acuerdos tienden a ser deterministas y vinculantes, la noción de estrategias mixtas puede reinterpretarse como comportamientos probabilísticos de entrada o permanencia en una coalición, especialmente cuando hay incertidumbre o cuando la cooperación es voluntaria y progresiva.

Supongamos que tres empresas evalúan participar en un proyecto conjunto. Cada una de ellas tiene una probabilidad de ingresar, influida por sus expectativas de reparto y el nivel de confianza que tiene en las otras. El valor esperado de la coalición depende entonces de las probabilidades conjuntas de participación.

Si:

- $P(A)=0.8$P(A) = 0.8
- $P(B)=0.7$P(B) = 0.7
- $P(C)=0.6$P(C) = 0.6

La probabilidad de que los tres cooperen es $P(ABC)=0.8\times0.7\times0.6=0.336$P(ABC) = 0.8 \times 0.7 \times 0.6 = 0.336

El valor esperado de esta cooperación es $v(\{A,B,C\})\times P(ABC)=50\times0.336=16.8$v(\{A,B,C\}) \times P(ABC) = 50 \times 0.336 = 16.8

Esta probabilidad permite modelar el comportamiento cooperativo bajo condiciones de riesgo, incertidumbre y preferencias individuales diversas. Los árboles de decisión pueden estructurar este modelo al representar nodos de entrada probabilística para cada jugador, con ramas que conducen a diferentes configuraciones de coalición y sus respectivos valores esperados.

Este enfoque es útil en sistemas dinámicos o inestables, donde la cooperación no puede asegurarse completamente, y donde los jugadores ajustan sus decisiones a partir de percepciones, reputaciones o incentivos institucionales. El equilibrio mixto permite explicar por qué, en ciertas condiciones, las coaliciones se forman de manera parcial o con fluctuaciones, y cómo los incentivos deben diseñarse para aumentar la probabilidad de cooperación completa.

MATRICES Y ÁRBOLES: REPRESENTACIÓN VISUAL DE ESTRATEGIAS

Tanto las matrices como los árboles de decisión cumplen un papel fundamental en la representación estructural de los juegos cooperativos. Las matrices organizan las posibles coaliciones y sus valores, facilitando cálculos formales sobre el núcleo, el valor de Shapley, el conjunto de imputaciones, entre otros. Los árboles, por su parte, introducen una dimensión temporal y condicional, mostrando cómo las decisiones secuenciales, la información parcial y los compromisos estratégicos influyen en la formación de acuerdos.

La dominancia estratégica puede visualizarse en matrices a través de comparaciones directas entre valores de coalición, mientras que los árboles permiten observar cómo el contexto y el orden de las decisiones afectan la elección de estrategias dominantes o mixtas. Esta dualidad analítica es especialmente útil para modelar contextos de cooperación complejos, como negociaciones multilaterales, coordinación de políticas públicas entre instituciones, alianzas empresariales y acuerdos medioambientales.

Por ejemplo, en una negociación para compartir recursos hídricos entre varias comunidades, la matriz permite calcular beneficios de cada coalición posible. Sin embargo, el árbol refleja cómo la entrada de cada comunidad modifica las decisiones posteriores, y cómo el tiempo, la confianza y los incentivos externos alteran las probabilidades de participación. En este caso, las estrategias dominantes pueden no ser claras ex ante, y los jugadores deben adoptar conductas mixtas o esperar a mejores condiciones de colaboración.

Asimismo, en acuerdos de cooperación internacional, los países pueden tener estrategias débilesmente dominantes al aceptar acuerdos parciales que no son óptimos pero son superiores a actuar de forma aislada. La entrada a un tratado ambiental, por ejemplo, puede representarse como una estrategia mixta en la medida en que depende de factores como la voluntad política, la presión internacional y las condiciones internas. Estas complejidades pueden ser representadas gráficamente para facilitar la toma de decisiones cooperativas robustas.

El análisis de estrategias dominantes, dominancia débil y equilibrios en estrategias mixtas dentro de la teoría de juegos cooperativos permite comprender las múltiples formas en que los jugadores pueden coordinarse para alcanzar objetivos comunes. A través de la representación matricial y los árboles de decisión, se capturan tanto las estructuras estáticas del valor conjunto como las dinámicas secuenciales y condicionales que caracterizan la cooperación real. Estas herramientas conceptuales no solo formalizan la racionalidad colectiva, sino que permiten modelar escenarios de cooperación imperfecta, donde la incertidumbre, la información parcial y las preferencias divergentes exigen formas

complejas de estrategia. La cooperación, lejos de ser un acto inmediato de alineación de intereses, es un proceso estratégico que requiere evaluar opciones, adaptar comportamientos y construir estructuras que permitan sostener la acción colectiva en entornos cambiantes y con múltiples actores.

MODELOS ESTRATÉGICOS DE COOPERACIÓN

La teoría de juegos, desde sus formulaciones fundacionales en los trabajos de von Neumann y Morgenstern, se ha convertido en una herramienta formal y conceptual imprescindible para entender las interacciones estratégicas entre agentes racionales. Mientras que la teoría de juegos no cooperativos se centra en el análisis de decisiones individuales bajo restricciones estratégicas, la teoría de juegos cooperativos incorpora la posibilidad de alianzas vinculantes, la formación de coaliciones y la asignación colectiva de beneficios. En estos juegos, los jugadores no compiten por beneficios individuales, sino que colaboran activamente para alcanzar un objetivo común, negociando reglas y mecanismos de reparto que aseguren la eficiencia y la estabilidad del acuerdo colectivo.

Los modelos de interacción estratégica cooperativa son esquemas formales que permiten representar, analizar y resolver situaciones en las que dos o más jugadores pueden obtener resultados superiores mediante la colaboración, en comparación con lo que lograrían actuando de forma individual. Estos modelos son útiles tanto para el análisis académico como para el diseño de soluciones aplicadas en contextos como la política pública, la economía colaborativa, la gestión de recursos naturales y los pactos institucionales.

A diferencia de los modelos de interacción competitiva, en los cuales los jugadores tratan de maximizar sus beneficios a costa de los demás, en los modelos cooperativos se busca maximizar el beneficio conjunto, estableciendo mecanismos justos y estables para repartir las ganancias. Esto implica la consideración de principios como la eficiencia (la totalidad del valor generado debe ser distribuido), la equidad (cada jugador debe recibir una compensación acorde con su aporte) y la estabilidad (ningún subconjunto de jugadores debe tener incentivos para abandonar el acuerdo).

FUNDAMENTOS DE LA COOPERACIÓN ESTRATÉGICA

Un modelo básico de interacción estratégica cooperativa parte de la noción de juego con forma característica, en el que se define un conjunto finito de jugadores N={1,2,...,n}N = \{1, 2, ..., n\} y una función v:2N→Rv: 2^N \to \mathbb{R}, que asigna un valor a cada coalición S⊆NS \subseteq N, representando el beneficio total que dicha coalición puede generar cooperando.

Este marco permite responder a una pregunta central: ¿cómo debe distribuirse el valor total de la gran coalición v(N)v(N) entre los jugadores, de modo que el reparto sea aceptado por todos? Para ello, se han desarrollado diferentes soluciones conceptuales, como el núcleo, el conjunto de imputaciones, el valor de Shapley y el nucleolo, entre otras. Cada uno de estos enfoques ofrece criterios distintos para resolver el problema del reparto, basándose en diferentes principios normativos y estratégicos.

Ejemplo didáctico de interacción cooperativa

Consideremos un escenario con tres jugadores AA, BB y CC, que pueden colaborar para realizar un proyecto comunitario. La función característica vv del juego se define de la siguiente manera:

- v({A})=10v(\{A\}) = 10
- v({B})=20v(\{B\}) = 20
- v({C})=15v(\{C\}) = 15
- v({A,B})=40v(\{A,B\}) = 40
- v({A,C})=35v(\{A,C\}) = 35
- v({B,C})=45v(\{B,C\}) = 45
- v({A,B,C})=60v(\{A,B,C\}) = 60

Esta información se puede representar en una matriz de coaliciones:

Coalición	Valor v(S)v(S)

{A}\{A\}	10
{B}\{B\}	20
{C}\{C\}	15
{A,B}\{A,B\}	40
{A,C}\{A,C\}	35
{B,C}\{B,C\}	45
{A,B,C}\{A,B,C\}	60

La gran coalición tiene el mayor valor posible, por lo cual se busca una asignación (xA,xB,xC)(x_A, x_B, x_C) tal que:

- xA+xB+xC=60x_A + x_B + x_C = 60 (eficiencia),
- xA≥10, xB≥20, xC≥15x_A \geq 10, \ x_B \geq 20, \ x_C \geq 15 (racionalidad individual),
- xA+xB≥40, xA+xC≥35, xB+xC≥45x_A + x_B \geq 40, \ x_A + x_C \geq 35, \ x_B + x_C \geq 45 (estabilidad colectiva).

Una asignación como (15,25,20)(15, 25, 20) cumple con estas condiciones. Esta solución puede interpretarse como un equilibrio cooperativo en el cual ningún subconjunto tiene incentivos para abandonar la coalición principal, y cada jugador recibe al menos el valor que podría generar por sí mismo o en coalición con otro.

Modelos de reparto: el valor de Shapley

Para lograr una distribución equitativa, el valor de Shapley ofrece un modelo normativo basado en la idea de contribución marginal. Cada jugador recibe un pago proporcional al valor que aporta, en promedio, al ingresar en una coalición. Formalmente, para cada permutación posible del orden de entrada de los jugadores, se calcula la diferencia entre el valor que tiene la coalición antes y después de que entre el jugador en cuestión. El valor de Shapley es el promedio de esas diferencias.

Aplicando este método al ejemplo anterior, se obtienen las siguientes contribuciones marginales promedio:

- φA=13.33\phi_A = 13.33
- φB=26.67\phi_B = 26.67
- φC=20.00\phi_C = 20.00

Estas asignaciones suman 60, cumplen con la eficiencia, y reflejan equitativamente la importancia de cada jugador en la generación del valor colectivo. Además, esta solución tiene propiedades deseables como simetría, aditividad y eficiencia, lo que la hace aplicable en múltiples contextos donde se busca justicia en la distribución.

Árboles de decisión en cooperación progresiva

Los árboles de decisión ofrecen una representación secuencial de los juegos, útil cuando la cooperación se construye en etapas. En ellos, los nodos representan decisiones estratégicas y las ramas las diferentes alternativas de coalición.

Supongamos que AA decide si iniciar el proyecto o esperar. Si inicia solo, obtiene v({A})=10v(\{A\}) = 10. Luego, BB puede unirse, formando {A,B}\{A,B\} con valor 40. Finalmente, CC puede integrarse, alcanzando {A,B,C}\{A,B,C\} con valor 60.

Este proceso permite observar cómo las decisiones estratégicas influyen en la formación progresiva de coaliciones, y cómo la entrada de nuevos jugadores modifica las expectativas de reparto. Los árboles de decisión también facilitan la identificación de posibles puntos de ruptura de la cooperación y ayudan a diseñar incentivos estratégicos para mantener a los jugadores dentro del acuerdo.

Interacción estratégica cooperativa en contextos reales

Los modelos descritos tienen múltiples aplicaciones en escenarios concretos:

1. Alianzas empresariales: varias empresas que cooperan en investigación pueden modelar sus interacciones como un juego cooperativo. Utilizando el valor de Shapley, pueden determinar cómo repartir los beneficios del descubrimiento conjunto.
2. Gestión de recursos compartidos: comunidades que explotan un lago o un río deben colaborar para evitar la sobreexplotación. El análisis cooperativo les permite identificar acuerdos sostenibles y diseñar mecanismos de reparto justos.
3. Proyectos multinacionales: países que participan en una infraestructura regional, como una red energética, pueden utilizar matrices y árboles de decisión para coordinar esfuerzos, evaluar escenarios y repartir beneficios de manera proporcional.
4. Organismos públicos interinstitucionales: distintas entidades del Estado que colaboran en un programa pueden formar coaliciones con diferentes niveles de impacto. El análisis cooperativo permite repartir presupuestos según el aporte de cada entidad.

En todos estos casos, los modelos de interacción estratégica cooperativa ofrecen no solo una descripción formal del problema, sino también herramientas normativas y predictivas para orientar la toma de decisiones colectivas.

Resolución de conflictos y sostenibilidad de la cooperación

Uno de los mayores desafíos de la cooperación es garantizar que los acuerdos alcanzados se mantengan en el tiempo. La estabilidad es clave: si un subconjunto de jugadores cree que puede mejorar su situación separándose del acuerdo, la coalición puede fragmentarse. Por eso, los modelos cooperativos no solo calculan beneficios, sino que introducen mecanismos para evaluar la incentivación de la permanencia y prevenir la desviación.

El uso de funciones características, junto con el análisis de amenazas de desviación y pagos laterales, permite diseñar sistemas de compensación que refuercen el compromiso. Esto es

especialmente importante en contextos donde existen asimetrías de poder, información incompleta o desconfianza histórica.

Por ejemplo, en un proyecto intermunicipal de reforestación, algunos municipios pueden tener más terreno, otros más recursos financieros, y otros mayor capacidad técnica. La cooperación solo será estable si los beneficios se reparten de forma que todos sientan que sus aportes han sido justamente reconocidos, y que su permanencia en la coalición es preferible a actuar solos.

La teoría de juegos cooperativos, y en particular sus modelos de interacción estratégica, representan una herramienta teórica y práctica de enorme valor para comprender y orientar procesos colectivos en los que múltiples actores persiguen un objetivo común. A través de marcos formales como la función característica, el valor de Shapley, el núcleo o los árboles de decisión, es posible no solo identificar acuerdos mutuamente beneficiosos, sino también diseñar mecanismos que aseguren la equidad y la estabilidad de dichos acuerdos. Lejos de ser un ejercicio exclusivamente académico, el análisis cooperativo tiene aplicaciones concretas en sectores públicos, privados y comunitarios, donde los desafíos complejos requieren una comprensión profunda de las relaciones interdependientes. En última instancia, estos modelos demuestran que la racionalidad estratégica puede ponerse al servicio de la colaboración, construyendo estructuras más justas y eficientes para afrontar los retos del mundo compartido.

Compromiso Estratégico Cooperativo

En la teoría de juegos cooperativos, los jugadores coordinan sus decisiones estratégicas para lograr un resultado superior al que podrían obtener actuando de forma individual. Esta perspectiva, alejada del enfoque competitivo de los juegos no cooperativos, permite modelar situaciones donde la cooperación es necesaria para alcanzar beneficios colectivos. Sin embargo, incluso en entornos cooperativos, las decisiones estratégicas están marcadas por el orden en que se toman, la disponibilidad de información y, sobre todo, la capacidad de generar y mantener compromisos creíbles. Así, conceptos como juegos secuenciales,

información perfecta e imperfecta, y credibilidad del compromiso adquieren un papel central en el análisis formal de las interacciones estratégicas cooperativas.

A diferencia de los juegos simultáneos, donde todos los jugadores eligen sus acciones al mismo tiempo sin conocer las decisiones de los demás, los juegos secuenciales permiten estudiar cómo las decisiones se toman en un orden específico, lo que introduce una dinámica temporal en el proceso de cooperación. Esta estructura, común en muchos contextos reales, es especialmente relevante en escenarios donde las coaliciones se forman de manera progresiva o donde los beneficios dependen del momento y la secuencia de entrada de los jugadores.

Por otro lado, el tipo de información disponible durante el juego —perfecta o imperfecta— condiciona profundamente las decisiones y estrategias. En juegos con información perfecta, cada jugador conoce todas las decisiones anteriores, lo que permite ajustes racionales en tiempo real. En contraste, en contextos de información imperfecta, los jugadores enfrentan incertidumbre respecto a las decisiones de otros, lo que puede debilitar la confianza y la cooperación, a menos que existan mecanismos de compromiso creíble que garanticen el cumplimiento de los acuerdos establecidos.

Juegos secuenciales en cooperación

Los juegos secuenciales en entornos cooperativos se representan formalmente mediante árboles de decisión. En ellos, los nodos corresponden a decisiones tomadas por los jugadores, las ramas representan las distintas alternativas disponibles, y las hojas muestran los resultados finales del juego. La estructura secuencial permite capturar aspectos esenciales como el liderazgo, la negociación progresiva y la posibilidad de respuesta ante las acciones de los demás.

Consideremos un ejemplo con tres jugadores AA, BB y CC, que pueden participar en la construcción de un centro de investigación comunitario. El beneficio total del proyecto si

colaboran los tres es de 90 unidades monetarias, pero si lo hacen solo dos, se genera un valor menor, y si uno solo actúa, el beneficio es muy limitado.

El juego se desarrolla en el siguiente orden: primero decide AA, luego BB y finalmente CC. El árbol de decisión representa las opciones de cada jugador y las posibles coaliciones en cada etapa. Supongamos que:

- Si AA actúa solo: v({A})=10v(\{A\}) = 10
- Si AA y BB colaboran: v({A,B})=50v(\{A,B\}) = 50
- Si los tres colaboran: v({A,B,C})=90v(\{A,B,C\}) = 90

En este escenario, la estrategia de AA debe considerar si su compromiso inicial será suficientemente atractivo para que BB y CC decidan sumarse. Si AA tiene la posibilidad de ofrecer compromisos vinculantes —por ejemplo, un acuerdo que garantice una distribución equitativa del valor generado— entonces es más probable que la coalición completa se forme.

Este juego secuencial refleja cómo el compromiso temprano puede condicionar el curso de la cooperación. Si AA no puede convencer a BB de que su decisión será estable, BB podría optar por no colaborar. Así, la cooperación no depende únicamente de los valores de las coaliciones, sino de la capacidad de los jugadores para generar confianza estratégica.

Información perfecta y decisiones cooperativas

En los juegos secuenciales con información perfecta, cada jugador observa las decisiones anteriores antes de actuar. Esta transparencia mejora la coordinación y la eficiencia, permitiendo a los jugadores ajustar sus estrategias en función del comportamiento observado.

En el ejemplo anterior, si BB ve que AA ha decidido cooperar, puede calcular si unirse mejora su resultado esperado. Si, por ejemplo, al sumarse a AA, BB recibe una promesa creíble de al menos 25 unidades (la mitad del valor conjunto), entonces colaborar es racional.

Posteriormente, CC, al ver que AA y BB han actuado, puede evaluar su beneficio marginal. Si el valor de v({A,B,C})=90v(\{A,B,C\}) = 90 se distribuye como (30,30,30)(30,30,30), y eso supera lo que CC podría obtener en otra coalición o actuando solo, entonces se sumará a la cooperación.

La información perfecta permite calcular las estrategias subgame perfect, aquellas que constituyen equilibrios en cada sub-juego del árbol. Esto significa que en cada nodo de decisión, el jugador tiene un incentivo real para ejecutar la estrategia prevista. Así, los compromisos asumidos en etapas anteriores son creíbles, ya que ninguna desviación es racional para los jugadores informados.

Este tipo de análisis es muy útil en contextos institucionales donde las decisiones públicas se toman de forma escalonada y con plena visibilidad, como en negociaciones parlamentarias, acuerdos intergubernamentales o proyectos de infraestructura regional. La posibilidad de observar y responder estratégicamente a las acciones de otros facilita la formación de coaliciones estables.

Información imperfecta y cooperación bajo incertidumbre

Cuando los juegos cooperativos se desarrollan con información imperfecta, los jugadores no conocen con certeza las acciones de los demás. Esto puede deberse a decisiones simultáneas, asimetrías informativas o falta de transparencia en el proceso. En estos casos, la cooperación se vuelve más incierta, y los jugadores deben basar sus decisiones en expectativas, señales o creencias sobre el comportamiento de los otros.

Retomando el ejemplo anterior, si BB no puede observar si AA ha decidido cooperar, deberá estimar la probabilidad de que AA actúe favorablemente. Supongamos que BB cree que AA coopera con una probabilidad del 70 %. En ese caso, el valor esperado de colaborar con AA dependerá de esta creencia.

El análisis formal de estos juegos implica el uso de equilibrios bayesianos, donde las estrategias óptimas se basan en probabilidades asignadas a las acciones desconocidas de

los demás. En este contexto, el rol de los compromisos creíbles es aún más importante. Si un jugador puede enviar señales confiables sobre su intención de cooperar, o si existen instituciones que aseguren el cumplimiento de los acuerdos, la cooperación es más viable.

Por ejemplo, si AA puede publicar un acuerdo vinculante que establezca cómo se distribuirán los beneficios, o si un tercero garantiza el cumplimiento del pacto, entonces BB y CC pueden sentirse seguros para actuar, incluso sin observar directamente las acciones previas.

En contextos como la cooperación internacional o las asociaciones público-privadas, donde la información imperfecta es frecuente, el diseño institucional debe enfocarse en crear mecanismos de compromiso creíble: contratos, marcos regulatorios, cláusulas de penalización, garantías externas o mecanismos de monitoreo. Estas estructuras reducen la incertidumbre y hacen que la cooperación sea racional y estable, incluso en ausencia de información perfecta.

El compromiso creíble como base de la cooperación

La idea de compromiso creíble es esencial en los juegos secuenciales y cobra especial importancia en los juegos cooperativos. A diferencia del simple anuncio de intenciones, un compromiso creíble requiere que las promesas puedan verificarse y que los jugadores tengan incentivos reales para cumplirlas. En el marco de los juegos cooperativos, esto implica diseñar mecanismos contractuales o institucionales que impidan desviaciones estratégicas una vez que se ha comenzado la cooperación.

Volviendo al ejemplo del centro de investigación, si AA promete a BB y CC una repartición equitativa del valor generado, pero luego no existe forma de hacer cumplir dicha promesa, entonces su compromiso no es creíble. Por el contrario, si existe una cláusula legal, una auditoría externa o una sanción reputacional en caso de incumplimiento, el compromiso se transforma en un elemento que estructura la decisión de los otros jugadores.

El compromiso creíble convierte las expectativas en decisiones racionales. Permite que los jugadores tomen riesgos estratégicos con mayor certeza, al saber que los acuerdos serán honrados. En juegos con información imperfecta, es incluso más valioso, ya que compensa la falta de visibilidad con garantías estructurales.

Este concepto se aplica ampliamente en economía y política: tratados internacionales, contratos empresariales, pactos de gobernabilidad y proyectos comunitarios funcionan sobre la base de compromisos creíbles. Su análisis formal desde la teoría de juegos permite identificar cuándo y cómo se deben estructurar, qué condiciones los hacen viables, y cómo afectan la eficiencia y la estabilidad de la cooperación.

Representación de juegos secuenciales en matrices

Aunque los juegos secuenciales se representan naturalmente en árboles, también pueden analizarse mediante matrices estratégicas, especialmente si se transforman en su forma normal. En esta representación, cada jugador elige una estrategia completa (un plan de acción para cada posible nodo), y las combinaciones posibles se organizan en una tabla.

Esto permite aplicar conceptos como el núcleo o el valor de Shapley también en contextos secuenciales, siempre que se incorpore la estructura temporal en el diseño de las estrategias. Si se considera el árbol completo como un juego en sí mismo, las estrategias dominantes, débiles o mixtas pueden aplicarse también a la cooperación progresiva.

Esta integración de formas extensivas y normales facilita el análisis mixto de situaciones complejas, como por ejemplo, proyectos multinacionales con etapas de adhesión, cláusulas de revisión periódica y compromisos de largo plazo. El uso combinado de matrices y árboles fortalece la capacidad de modelar la realidad estratégica con rigor y flexibilidad.

El análisis de juegos cooperativos secuenciales, junto con la consideración de la información perfecta e imperfecta y el papel del compromiso creíble, ofrece una comprensión más rica y matizada de los procesos de cooperación. En la práctica, la mayoría de las decisiones colectivas no se toman de forma simultánea ni en contextos de información completa. Por

el contrario, las coaliciones se forman paso a paso, las decisiones dependen del comportamiento de otros, y las promesas deben ser verificables para que la colaboración sea sostenible. En este marco, la teoría de juegos proporciona no solo herramientas formales, sino también marcos conceptuales que permiten diseñar instituciones más eficaces, procesos más confiables y resultados más justos. La cooperación racional, sostenida en compromisos creíbles y estructuras estratégicas bien diseñadas, es uno de los pilares fundamentales para enfrentar los desafíos complejos del mundo contemporáneo.

COOPERACIÓN ESTRATÉGICA PÚBLICO-PRIVADA

La teoría de juegos, como herramienta analítica para estudiar interacciones estratégicas entre agentes racionales, ha demostrado una notable versatilidad para abordar fenómenos complejos de coordinación, negociación y cooperación. En particular, los juegos cooperativos permiten modelar escenarios donde los jugadores —en este caso, entidades del sector público y actores del sector privado— colaboran con el fin de alcanzar un beneficio conjunto que supera lo que podrían obtener individualmente. Esta perspectiva resulta especialmente relevante en el contexto de las alianzas público-privadas (APP), entendidas como arreglos contractuales de largo plazo entre el Estado y empresas privadas para desarrollar infraestructuras o prestar servicios esenciales que satisfacen necesidades públicas.

La aplicación de la teoría de juegos cooperativos a las APP permite analizar cómo los diferentes actores pueden formar coaliciones estables y eficientes para cumplir objetivos comunes, diseñar mecanismos de reparto de beneficios y riesgos, y garantizar la sostenibilidad de los acuerdos. En estos contextos, la cooperación no es simplemente deseable: es una condición estructural para superar limitaciones presupuestales, tecnológicas o logísticas del sector público, al tiempo que se alinean los incentivos del sector privado hacia la creación de valor público.

Fundamentación teórica de la cooperación en APP

Desde la perspectiva de los juegos cooperativos, una APP puede entenderse como una coalición entre el Estado y uno o más agentes privados, que se comprometen a realizar una actividad conjunta. El modelo formal básico considera un conjunto de jugadores N={1,2,…,n}N = \{1,2,\ldots,n\}, donde cada subconjunto S⊆NS \subseteq N representa una posible coalición. La función característica v(S)v(S) asigna a cada coalición un valor económico o social, reflejando la utilidad total que puede generarse mediante la cooperación entre sus miembros.

Cuando los actores del sector público (ministerios, gobiernos locales, agencias reguladoras) y los del sector privado (constructoras, operadoras, inversionistas) colaboran, pueden alcanzar una eficiencia que no sería posible si cada parte actuara de forma aislada. Por ejemplo, el Estado puede facilitar permisos, normativas y garantías institucionales, mientras que el privado aporta inversión, tecnología y capacidad operativa. Así, el valor de la coalición público-privada v(PP)v(PP) supera al valor individual de cada actor v(P),v(Pv)v(P), v(Pv), siendo racional y deseable la cooperación estratégica.

Una de las tareas centrales es diseñar una distribución de beneficios y responsabilidades que garantice que ninguna de las partes tenga incentivos para abandonar el acuerdo. Aquí intervienen conceptos fundamentales como el núcleo del juego —el conjunto de repartos en los que ningún subconjunto de jugadores obtiene más valor actuando por separado—, el valor de Shapley, que reparte el beneficio según la contribución marginal de cada actor, y el nucleolo, que minimiza el descontento relativo de las partes. Estos conceptos ayudan a estructurar esquemas contractuales y financieros que equilibran la equidad y la estabilidad.

Aplicación práctica: un ejemplo ilustrativo

Consideremos una APP para construir y operar un sistema de transporte masivo en una ciudad intermedia. Participan tres actores principales: el gobierno municipal (GG), una firma

privada de construcción (CC) y una operadora logística (OO). La función característica del juego se define así:

- v({G})=30v(\{G\}) = 30 (capacidad de gestión, permisos y subsidios)
- v({C})=40v(\{C\}) = 40 (infraestructura y ejecución técnica)
- v({O})=35v(\{O\}) = 35 (operación y mantenimiento)
- v({G,C})=90v(\{G,C\}) = 90
- v({G,O})=85v(\{G,O\}) = 85
- v({C,O})=80v(\{C,O\}) = 80
- v({G,C,O})=150v(\{G,C,O\}) = 150

La coalición completa genera el mayor valor. Por tanto, el objetivo es establecer un acuerdo cooperativo en el que los tres actores participen y obtengan una porción del beneficio total v(N)=150v(N) = 150, respetando criterios de racionalidad individual (cada actor debe recibir al menos lo que lograría por sí solo) y de coalición (cualquier subcoalición no debe tener incentivos para apartarse).

El cálculo del valor de Shapley puede servir como punto de referencia para una distribución equitativa. Por ejemplo, si las contribuciones marginales promedio son: φG=50\phi_G = 50, φC=50\phi_C = 50, φO=50\phi_O = 50, la distribución (50,50,50)(50, 50, 50) resulta eficiente, equitativa y estable. No obstante, si alguno de los actores asume un riesgo mayor —como financiamiento anticipado o exposición política—, el reparto puede ajustarse en función de esa asimetría.

Compromiso, riesgos y garantías

Uno de los componentes más sensibles en las APP es la necesidad de compromisos creíbles. La cooperación exitosa requiere que las partes confíen en que las promesas y obligaciones asumidas se cumplirán en el tiempo. Dado que las APP suelen extenderse por décadas, los riesgos asociados al incumplimiento, a los cambios de gobierno o a eventos imprevistos deben ser cuidadosamente gestionados.

Aquí entra en juego la dimensión estratégica del compromiso en los juegos cooperativos. Para que la coalición se mantenga estable, deben existir mecanismos que garanticen la adhesión a los acuerdos. Esto puede incluir contratos formalizados con cláusulas de penalización, garantías institucionales, fondos de contingencia y la participación de terceros verificadores. Estos elementos actúan como extensiones del marco cooperativo, haciendo que los acuerdos sean no solo deseables, sino también sostenibles.

Además, es importante que el diseño del contrato coopere con la lógica de incentivos. Por ejemplo, un contrato mal estructurado puede inducir comportamientos oportunistas, donde alguna de las partes cumple parcialmente sus compromisos esperando renegociaciones futuras. Por el contrario, un contrato cooperativo bien diseñado internaliza los incentivos para mantener una conducta colaborativa durante toda la vigencia del acuerdo.

Información imperfecta y asimetría entre actores

Otro desafío crucial en las APP es la existencia de asimetrías de información. Mientras que el sector público puede tener más conocimiento sobre las necesidades de la población y las restricciones legales, el sector privado suele tener mayor información sobre costos reales, tecnología y tiempos de ejecución. Esta asimetría puede generar riesgos de selección adversa o comportamiento oportunista.

Desde la teoría de juegos cooperativos, este problema puede ser abordado mediante mecanismos que reduzcan la incertidumbre o distribuyan los riesgos de manera proporcional. Por ejemplo, la inclusión de cláusulas de revisión periódica, auditorías independientes o esquemas de participación variable en los beneficios (como tarifas indexadas al desempeño) permite alinear los incentivos en contextos de información imperfecta.

Los juegos con información imperfecta pueden ser modelados con estrategias basadas en expectativas o distribuciones de probabilidad. Esto implica que los jugadores deciden

cooperar no solo por lo que conocen, sino también por lo que creen que harán los otros. En APP, estos elementos subjetivos se traducen en percepciones de riesgo, reputación de las partes, o incluso presiones políticas externas. En este contexto, los compromisos creíbles y los incentivos correctos son aún más relevantes.

Eficiencia y valor social de las APP

El principal propósito de las APP es generar valor público, es decir, beneficios que excedan la lógica privada de maximización de ganancias e impacten positivamente en la calidad de vida de los ciudadanos. Desde la teoría de juegos cooperativos, esto se traduce en maximizar la función característica v(N)v(N) no solo en términos monetarios, sino también sociales: acceso equitativo, cobertura, sostenibilidad ambiental y transparencia.

Para que las APP cumplan con esta función, es necesario que la lógica cooperativa esté claramente definida desde el inicio. No basta con firmar acuerdos contractuales: se requiere una comprensión estratégica del valor conjunto, una estructura de incentivos que motive la acción colectiva y mecanismos formales para asegurar el compromiso a largo plazo. La teoría de juegos cooperativos ofrece el andamiaje conceptual para estructurar estos procesos y anticipar posibles escenarios de conflicto, renegociación o disolución.

Además, la teoría permite introducir conceptos como la función de bienestar social, que agrega ponderaciones sociales a los valores de cada coalición. Por ejemplo, una coalición que maximiza el valor monetario pero excluye a sectores vulnerables puede ser inferior, en términos de valor social, a otra que distribuye de manera más equitativa los beneficios, aunque a un costo financiero mayor.

Cooperación multiactor y diseño institucional

Las APP no se limitan a relaciones bilaterales entre el Estado y una empresa privada. En muchos casos, involucran múltiples niveles de gobierno, varios actores privados, organizaciones comunitarias y organismos multilaterales. Esta complejidad incrementa el número de posibles coaliciones y la dificultad de coordinar estrategias.

Aquí es donde los conceptos de núcleo, estabilidad y coaliciones mínimamente bloqueantes resultan útiles. Por ejemplo, una coalición puede ser eficiente, pero inestable si un subconjunto de actores considera que estaría mejor en otro arreglo. El análisis formal de estas configuraciones permite diseñar estructuras institucionales que garanticen una cooperación robusta.

En este sentido, la teoría de juegos cooperativos se integra con el diseño de políticas públicas, proporcionando marcos para identificar actores críticos, diseñar esquemas de gobernanza colaborativa, y anticipar efectos distributivos no deseados. Las herramientas gráficas como árboles de decisión o matrices de coaliciones facilitan la representación clara de las estrategias disponibles, la secuencia de acciones y los posibles puntos de ruptura.

El abordaje cooperativo desde la teoría de juegos ofrece una lente poderosa para comprender, estructurar y optimizar las alianzas público-privadas en la satisfacción de necesidades del sector público. En escenarios donde los intereses y capacidades están distribuidos entre múltiples actores, la cooperación estratégica se convierte en una necesidad operativa más que en una opción deseable. A través de modelos formales como la función característica, el valor de Shapley, el núcleo o el compromiso creíble, es posible diseñar alianzas que no solo maximicen el valor económico, sino que garanticen equidad, eficiencia y sostenibilidad en el tiempo. La gestión de riesgos, la reducción de asimetrías informativas, el diseño de incentivos adecuados y la institucionalización de mecanismos de cumplimiento son condiciones necesarias para que la cooperación se materialice en resultados tangibles para la ciudadanía. Así, las APP dejan de ser solo una herramienta de gestión para convertirse en un espacio estratégico de interacción racional, donde el sector público y privado, al cooperar, construyen valor público de manera conjunta.

COOPERACIÓN TEMPORAL ESTRATÉGICA

La teoría de juegos cooperativos ha sido uno de los marcos más relevantes para analizar interacciones estratégicas entre agentes económicos que buscan alcanzar objetivos comunes mediante la colaboración. En este tipo de juegos, a diferencia de los no cooperativos donde cada agente actúa por separado en función de sus propios intereses, los jugadores tienen la posibilidad de formar coaliciones vinculantes y repartirse de manera coordinada los beneficios obtenidos. Este enfoque es especialmente útil para comprender los mecanismos de las uniones temporales entre empresas del sector privado que desean acceder conjuntamente a procesos de contratación pública, en los que la colaboración representa una estrategia racional para superar barreras técnicas, económicas o jurídicas y competir de forma más efectiva en un entorno complejo y regulado.

Las uniones temporales son estructuras contractuales formadas por dos o más empresas que, sin perder su independencia jurídica, acuerdan participar conjuntamente en un proceso de licitación pública o en la ejecución de un contrato con una entidad del Estado. Esta forma de cooperación estratégica responde a la necesidad de agregar capacidades complementarias, distribuir riesgos, reducir costos de transacción, aumentar competitividad y cumplir requisitos mínimos de participación que, de manera individual, muchas veces no serían alcanzables. Desde la teoría de juegos cooperativos, estas uniones pueden modelarse como coaliciones que buscan maximizar un valor conjunto, el cual deberá ser repartido según criterios de equidad, eficiencia y estabilidad.

Fundamentos cooperativos en la contratación pública

En los juegos cooperativos, el análisis se basa en una función de valor o función característica, v(S)v(S), que asigna a cada coalición de jugadores S⊆NS \subseteq N un valor que representa el beneficio total que dicho grupo puede generar mediante la cooperación. Para el caso de las uniones temporales empresariales, esta función puede reflejar la utilidad derivada de ganar una licitación, ejecutar un contrato exitosamente, o reducir costos al compartir recursos y capacidades.

Supongamos un conjunto de empresas N={E1,E2,...,En}N = \{E_1, E_2, ..., E_n\} interesadas en participar en una licitación pública. Cada empresa tiene fortalezas distintas: una puede aportar capacidad financiera, otra experiencia técnica, otra maquinaria, otra logística. Si actuaran individualmente, podrían obtener un beneficio limitado, o incluso quedar excluidas por no cumplir los requisitos mínimos del pliego. En cambio, al formar una unión temporal, es posible alcanzar un mayor valor colectivo v(N)v(N), ya sea en términos económicos (ganar la licitación y ejecutar el contrato), estratégicos (posicionar la marca), o regulatorios (cumplir normativas específicas de contratación pública).

Esta cooperación es viable si se cumple el principio de racionalidad individual (cada empresa obtiene más en la coalición que fuera de ella) y de estabilidad de la coalición (ningún subconjunto de empresas tiene incentivos para desviarse y actuar por su cuenta). La teoría de juegos proporciona herramientas como el núcleo, el valor de Shapley y el nucleolo, que permiten encontrar esquemas de reparto del beneficio que satisfagan estas condiciones.

Ejemplo didáctico: unión temporal entre tres empresas

Para ilustrar el análisis formal, consideremos tres empresas del sector construcción:

- E1E_1: empresa con experiencia en ingeniería estructural.
- E2E_2: empresa con capacidad financiera sólida.
- E3E_3: empresa con maquinaria pesada y logística operativa.

La licitación requiere demostrar experiencia técnica, solvencia económica y capacidad operativa. Individualmente, ninguna empresa cumple con todos los requisitos. La función característica del juego es:

- v({E1})=0v(\{E_1\}) = 0, v({E2})=0v(\{E_2\}) = 0, v({E3})=0v(\{E_3\}) = 0
- v({E1,E2})=80v(\{E_1,E_2\}) = 80
- v({E1,E3})=75v(\{E_1,E_3\}) = 75
- v({E2,E3})=60v(\{E_2,E_3\}) = 60
- v({E1,E2,E3})=120v(\{E_1,E_2,E_3\}) = 120

El valor total de la unión temporal es de 120 unidades monetarias. El desafío es determinar un reparto (x1,x2,x3)(x_1, x_2, x_3) tal que:

- x1+x2+x3=120x_1 + x_2 + x_3 = 120 (eficiencia),
- xi≥0x_i \geq 0 para todo ii (racionalidad individual),
- x1+x2≥80x_1 + x_2 \geq 80, x1+x3≥75x_1 + x_3 \geq 75, x2+x3≥60x_2 + x_3 \geq 60 (estabilidad de coaliciones).

Una distribución que cumple estas condiciones puede ser x1=40x_1 = 40, x2=40x_2 = 40, x3=40x_3 = 40. Sin embargo, si la contribución marginal de E3E_3 al valor total es menor que la de E1E_1 o E2E_2, el valor de Shapley puede proponer una distribución distinta, por ejemplo: x1=45x_1 = 45, x2=50x_2 = 50, x3=25x_3 = 25. Esta asignación refleja el valor añadido por cada jugador en promedio a lo largo de todas las posibles órdenes de ingreso a la coalición.

Este ejemplo demuestra cómo la cooperación no solo permite alcanzar el objetivo común —en este caso, acceder a la contratación pública— sino que también requiere una negociación estratégica sobre los términos internos de participación.

Compromisos creíbles y sostenibilidad de la coalición

La estabilidad de una unión temporal no se basa únicamente en el beneficio potencial, sino en la capacidad de generar compromisos creíbles entre las partes. La teoría de juegos cooperativos enfatiza que las coaliciones son sostenibles solo si los jugadores confían en que los acuerdos serán cumplidos y que no se generarán desviaciones oportunistas. En el contexto de contratación pública, esta confianza se ve reforzada por la existencia de contratos legalmente vinculantes, cláusulas de penalización, compromisos financieros y regulaciones que norman el comportamiento de los miembros de la unión.

Además, las empresas deben prever escenarios en los que uno de los miembros incumpla, salga del proyecto o tenga un desempeño deficiente. Para ello, la cooperación debe incorporar mecanismos de resolución de conflictos, fórmulas de reparto dinámicas basadas

en desempeño y estructuras de gobernanza interna que permitan la toma de decisiones colectivas.

Estos mecanismos son comparables a los juegos secuenciales con información perfecta, donde cada acción estratégica condiciona la siguiente, y la previsibilidad de las respuestas futuras influye en las decisiones actuales. Así, la teoría de juegos ofrece marcos analíticos para diseñar esquemas de cooperación que anticipen problemas de confianza y los gestionen racionalmente.

Información imperfecta y evaluación estratégica

Las uniones temporales se constituyen muchas veces sin que las empresas conozcan completamente las capacidades reales, los antecedentes o los intereses ocultos de sus potenciales socios. Esta información imperfecta introduce un grado de incertidumbre que puede dificultar la cooperación o hacerla ineficiente. En términos de teoría de juegos, este entorno puede ser modelado como un juego bayesiano, en el cual los jugadores forman expectativas sobre los tipos de los otros participantes (por ejemplo, si cumplirán sus obligaciones, si tienen los recursos prometidos, etc.).

Para mitigar los efectos de la información imperfecta, es necesario introducir mecanismos de señalización y verificación: cartas de intención, referencias, garantías, auditorías y reportes certificados. Estos instrumentos no solo reducen el riesgo percibido, sino que contribuyen a establecer una base de confianza mínima que favorece la formación de la coalición. De igual forma, los procesos públicos de evaluación ex ante, como la calificación técnica y financiera, actúan como filtros para reducir la asimetría informativa y asegurar que las uniones temporales estén compuestas por actores confiables y complementarios.

Riesgos, beneficios y diseño institucional

Desde la lógica cooperativa, la decisión de formar una unión temporal implica la distribución tanto de beneficios como de riesgos. Los riesgos pueden incluir desde la pérdida del contrato, retrasos en los pagos del Estado, sanciones por incumplimiento, hasta el deterioro

de la reputación. La teoría de juegos permite analizar estos riesgos como parte integral del valor esperado de cada coalición, ajustando la función característica para incorporar variables de penalización, escenarios adversos y pagos contingentes.

El diseño de la unión temporal, por tanto, debe incluir cláusulas que regulen el reparto de riesgos, tales como: participación diferenciada en las pérdidas, escalas de responsabilidad, mecanismos de salvamento o cláusulas de retiro. Este diseño se beneficia del análisis cooperativo al ofrecer soluciones que maximicen la utilidad esperada colectiva sin crear incentivos perversos que desincentiven el esfuerzo o favorezcan comportamientos oportunistas.

Al mismo tiempo, las instituciones públicas que convocan procesos de contratación deben diseñar reglas que no desincentiven la cooperación legítima, sino que promuevan un entorno competitivo sano. Estas reglas incluyen puntuaciones adicionales para uniones complementarias, mayores plazos de ejecución, criterios claros de evaluación conjunta y garantías proporcionales al riesgo real.

Integración de capacidades y valor público

Uno de los aportes más significativos de las uniones temporales es la posibilidad de integrar capacidades heterogéneas que, al actuar de forma sinérgica, producen un resultado de valor público superior. La colaboración permite que pequeñas y medianas empresas, que usualmente no tendrían acceso a grandes contratos públicos, puedan competir mediante alianzas estratégicas. Esto tiene un efecto democratizador en el acceso a los recursos estatales y promueve una mayor eficiencia del gasto público.

Desde la perspectiva de la teoría de juegos cooperativos, esto equivale a permitir que coaliciones con alto valor potencial pero capacidades individuales limitadas, logren superar las barreras estructurales del mercado mediante una estrategia racional de cooperación. Al modelar estas interacciones, es posible identificar qué configuraciones de empresas

maximizan el valor social, qué combinaciones generan externalidades positivas y qué reglas institucionales deben promoverse para favorecerlas.

Además, este enfoque contribuye al fortalecimiento del tejido empresarial local, al aprendizaje organizacional y al desarrollo de capacidades colectivas que perduran más allá de un único contrato. La cooperación estratégica, cuando está bien diseñada y formalizada, se convierte en una palanca de transformación institucional y empresarial.

El análisis de las uniones temporales desde la teoría de juegos cooperativos permite comprenderlas no solo como arreglos contractuales puntuales, sino como expresiones racionales de cooperación estratégica orientada a objetivos comunes en el marco de la contratación pública. Mediante el uso de funciones características, núcleos, valores de Shapley y modelos de información imperfecta, se logra representar formalmente el valor colectivo que surge de integrar capacidades, compartir riesgos y establecer compromisos creíbles. Esta perspectiva fortalece tanto el diseño interno de las coaliciones como las políticas públicas que regulan su funcionamiento. En contextos donde las empresas enfrentan limitaciones para competir solas, la cooperación temporal ofrece una vía eficiente y equitativa para acceder a oportunidades, aumentar la calidad de los proyectos públicos y contribuir al desarrollo económico. En definitiva, la cooperación temporal se consolida como una estrategia racional y necesaria para articular intereses privados con objetivos públicos, bajo un marco de confianza, equilibrio y valor compartido.

Consorcios y Cooperación Estratégica

La teoría de juegos cooperativos constituye un marco analítico robusto y versátil para entender y modelar escenarios en los cuales múltiples agentes económicos deciden colaborar estratégicamente para alcanzar un objetivo común. En este tipo de juegos, los actores —denominados jugadores— forman coaliciones, comprometiéndose a actuar de manera coordinada para generar un valor conjunto que excede lo que podrían obtener individualmente. Esta estructura resulta especialmente útil para explicar los procesos de conformación de consorcios entre empresas del sector privado que buscan acceder a los

procesos de contratación pública, fenómeno que implica una cooperación estratégica formalizada, orientada a la maximización de beneficios compartidos, la mitigación de riesgos y el cumplimiento de requisitos legales, técnicos y económicos que de forma aislada podrían resultar inalcanzables.

Un consorcio es una forma jurídica de asociación entre dos o más empresas independientes que deciden unir sus capacidades y recursos para presentarse conjuntamente a una licitación o ejecutar en conjunto un contrato estatal. A diferencia de las uniones temporales, los consorcios implican un compromiso solidario y conjunto frente a la administración pública, y su formalización está regulada por los marcos normativos de la contratación estatal. Desde la perspectiva de la teoría de juegos cooperativos, un consorcio puede modelarse como una coalición estructurada, donde los jugadores se organizan estratégicamente, negocian su participación interna y diseñan reglas de reparto de costos, beneficios y responsabilidades.

TEORÍA DE JUEGOS COOPERATIVOS Y CONTRATACIÓN PÚBLICA

En los juegos cooperativos, la función característica v(S)v(S) asigna a cada coalición S⊆NS \subseteq N un valor que representa el beneficio que los miembros de dicha coalición pueden alcanzar trabajando en conjunto. Este valor puede reflejar el monto del contrato a obtener, el ahorro por economías de escala, la mejora reputacional, el acceso a nuevos mercados o la sinergia técnica entre los participantes. En el contexto de contratación pública, la función característica de un consorcio se ve afectada por diversos factores: los requisitos del pliego, los niveles de experiencia exigidos, la capacidad de ejecución conjunta y la eficiencia de la articulación entre empresas.

Considérese un conjunto de empresas N={E1,E2,...,En}N = \{E_1, E_2, ..., E_n\} que analizan la posibilidad de conformar un consorcio para participar en una licitación pública. Cada empresa por sí sola tiene una capacidad limitada para cumplir con los requerimientos del proyecto: experiencia, maquinaria, liquidez, recurso humano, entre otros. La cooperación entre ellas puede permitir alcanzar el umbral necesario para competir por el contrato. En

este contexto, la coalición S⊆NS \subseteq N representará un posible consorcio, y el valor v(S)v(S) corresponderá a la utilidad potencial derivada de adjudicarse el contrato y ejecutarlo exitosamente.

El diseño y la estabilidad del consorcio dependen de dos principios fundamentales en teoría de juegos: la racionalidad individual (cada empresa debe obtener, como mínimo, lo que podría lograr fuera de la coalición) y la racionalidad colectiva o estabilidad (ningún subconjunto de empresas debe tener incentivos para escindirse y formar otra coalición más beneficiosa). Para garantizar estas condiciones, la teoría propone instrumentos analíticos como el núcleo, el valor de Shapley y el nucleolo, que permiten distribuir de manera justa y estable el valor cooperativo generado.

Ejemplo ilustrativo de consorcio

Para ilustrar la aplicación formal, supongamos tres empresas:

- E1E_1: especializada en diseño estructural y con experiencia técnica,
- E2E_2: con liquidez financiera y experiencia en licitaciones,
- E3E_3: con maquinaria y personal operativo.

Ninguna empresa por sí sola cumple con los requisitos mínimos para participar en una licitación de construcción de una planta de tratamiento de aguas, cuyo valor total adjudicado es de 150 unidades monetarias. El valor potencial de las distintas coaliciones es el siguiente:

- v({E1})=0v(\{E_1\}) = 0, v({E2})=0v(\{E_2\}) = 0, v({E3})=0v(\{E_3\}) = 0
- v({E1,E2})=80v(\{E_1,E_2\}) = 80
- v({E1,E3})=90v(\{E_1,E_3\}) = 90
- v({E2,E3})=85v(\{E_2,E_3\}) = 85
- v({E1,E2,E3})=150v(\{E_1,E_2,E_3\}) = 150

Aquí, la única coalición que permite cumplir todos los requisitos y alcanzar el valor máximo es {E1,E2,E3}\{E_1,E_2,E_3\}, por lo que resulta racional constituir un consorcio tripartito. El desafío estratégico es acordar un reparto (x1,x2,x3)(x_1, x_2, x_3) tal que:

- x1+x2+x3=150x_1 + x_2 + x_3 = 150,
- xi≥0x_i \geq 0 para todo ii,
- x1+x2≥80x_1 + x_2 \geq 80, x1+x3≥90x_1 + x_3 \geq 90, x2+x3≥85x_2 + x_3 \geq 85.

Una asignación razonable desde el punto de vista de la equidad sería el cálculo del valor de Shapley, que promedia las contribuciones marginales de cada empresa en todos los órdenes posibles de ingreso al consorcio. Si este cálculo arroja x1=50x_1 = 50, x2=45x_2 = 45, x3=55x_3 = 55, se tendrá un reparto que reconoce la complementariedad y el valor diferencial de cada actor. Este tipo de modelado permite simular negociaciones internas de los consorcios y anticipar posibles conflictos en torno a la distribución de responsabilidades y utilidades.

Contratos, compromiso y sostenibilidad

La viabilidad y sostenibilidad de un consorcio no dependen únicamente de las ganancias proyectadas, sino también de la existencia de compromisos creíbles entre sus miembros. La teoría de juegos cooperativos reconoce que los acuerdos deben tener fuerza vinculante, de modo que las promesas asumidas sean creíbles, ejecutables y verificables. En el contexto contractual, estos compromisos se traducen en instrumentos legales como pactos de cumplimiento, cláusulas penales, garantías solidarias y mecanismos de gobernanza interna.

Estos compromisos pueden analizarse mediante juegos secuenciales, donde las decisiones estratégicas de los actores se suceden en el tiempo y condicionan las acciones posteriores. Por ejemplo, si una empresa líder del consorcio actúa oportunistamente en la etapa inicial del proyecto, las demás pueden responder con demandas judiciales, retiro de recursos o activación de penalidades contractuales. La posibilidad de tales reacciones modela el juego

como una cadena de acciones y represalias, cuyo análisis puede clarificar la necesidad de estructuras de sanción y de incentivos.

Asimismo, la credibilidad del compromiso se ve reforzada por la existencia de mecanismos externos, como la vigilancia institucional, la veeduría ciudadana o la auditoría estatal. Estos factores no solo fomentan la cooperación efectiva, sino que también previenen comportamientos desleales y fortalecen la transparencia y eficiencia del proceso contractual.

Información imperfecta y confianza estratégica

Uno de los principales desafíos en la conformación de consorcios es la información imperfecta entre las empresas que se asocian. Cada una tiene un conocimiento limitado sobre la solidez financiera, la capacidad técnica, el historial contractual o el compromiso ético de las otras. Esta incertidumbre puede desincentivar la cooperación o generar desequilibrios en la negociación inicial.

La teoría de juegos aborda esta situación mediante modelos bayesianos, en los cuales los jugadores toman decisiones basados en creencias probabilísticas sobre los tipos de los demás jugadores. La confianza estratégica, por tanto, se convierte en un recurso clave, que puede ser fortalecido por señales verificables, como certificaciones, referencias, estados financieros auditados o trayectoria empresarial.

Los consorcios deben entonces diseñar estrategias de verificación que incluyan procesos de due diligence, validación externa y compromisos públicos. Estos mecanismos actúan como herramientas de alineación de expectativas, permitiendo a las partes reducir la incertidumbre y construir una base mínima de confianza para la cooperación sostenida.

Riesgo compartido y asignación eficiente

Otro componente central en el análisis cooperativo de consorcios es la distribución de riesgos. Las empresas no solo se reparten beneficios, sino que también enfrentan

conjuntamente los riesgos del proyecto: retrasos, incrementos de costos, sanciones contractuales, problemas laborales, entre otros. Desde la teoría de juegos, el riesgo puede modelarse como una reducción esperada del valor v(S)v(S), ajustando las asignaciones xix_i según la exposición de cada empresa.

La asignación eficiente del riesgo implica que las empresas con mayor capacidad de absorberlo (por capital, experiencia o tecnología) asuman proporcionalmente más responsabilidad, lo que debe reflejarse en una mayor participación en las utilidades. Este equilibrio permite diseñar contratos cooperativos más estables y justos, evitando sobrecargas indebidas o incentivos perversos que puedan romper la coalición.

Además, la cooperación para compartir riesgos puede extenderse más allá del consorcio, incluyendo aseguradoras, fideicomisos, fondos de garantía y esquemas de cofinanciación. Estos actores complementarios fortalecen la base estructural del consorcio y reducen el impacto negativo de los eventos adversos sobre la cooperación.

Gobernanza interna y toma de decisiones

La gobernanza interna del consorcio es otro aspecto que la teoría de juegos puede modelar. Las decisiones colectivas deben tomarse de forma consensuada, eficiente y transparente. Para ello, se definen mecanismos de votación, jerarquías internas, comités técnicos, cláusulas de veto o reglas de proporcionalidad según el aporte de cada empresa.

Desde una perspectiva cooperativa, esta gobernanza puede representarse como un juego de votación ponderada, donde el poder de decisión depende del valor marginal o del aporte relativo de cada jugador. El análisis de índices de poder, como el de Banzhaf o el valor de Shapley aplicado a votos, permite anticipar conflictos de gobernabilidad y diseñar estructuras más equilibradas.

Una gobernanza efectiva también implica mecanismos de monitoreo, seguimiento del cumplimiento de compromisos y resolución alternativa de conflictos. Estos componentes

aumentan la eficiencia de la coalición y reducen los costos asociados a la litigación o a la fragmentación del consorcio.

Beneficios sistémicos de los consorcios

Más allá del beneficio directo que obtienen las empresas consorciadas al adjudicarse un contrato, los consorcios aportan valor sistémico al ecosistema de contratación pública. Promueven la competencia colaborativa, permiten la inclusión de empresas pequeñas en proyectos grandes, fomentan la innovación mediante la combinación de saberes y tecnologías, y generan aprendizajes organizacionales que fortalecen el tejido empresarial local.

Desde la teoría de juegos cooperativos, este valor sistémico puede modelarse como una externalidad positiva de la cooperación, que impacta no solo en los jugadores directos, sino también en la sociedad en general. Así, el diseño institucional que favorece la cooperación empresarial no solo mejora la eficiencia contractual, sino que también dinamiza el desarrollo económico y social.

Los consorcios bien diseñados, con reglas claras, compromisos creíbles, mecanismos de resolución de conflictos y distribución justa de riesgos y beneficios, contribuyen al cumplimiento de los principios de la contratación pública: transparencia, eficiencia, pluralidad de oferentes y calidad en la ejecución.

El estudio de los consorcios desde la teoría de juegos cooperativos permite comprender su lógica profunda como estructuras racionales de colaboración estratégica. Más allá de una asociación circunstancial, el consorcio es una forma de respuesta organizada y eficiente a las exigencias del mercado público, donde la competencia se conjuga con la cooperación. La modelación matemática de sus dinámicas internas —reparto de utilidades, gobernanza, gestión del riesgo, compromiso creíble y equilibrio informativo— ofrece herramientas valiosas para optimizar su diseño y fortalecer su sostenibilidad. Así, las empresas no solo maximizan su capacidad de participación en procesos estatales, sino que contribuyen a una

cultura contractual más sólida, transparente y orientada al bien común. En la medida en que estas formas de cooperación estratégica se consoliden, será posible avanzar hacia modelos de contratación pública más integradores, innovadores y resilientes.

CLÚSTERES Y JUEGO COOPERATIVO

En el estudio de las dinámicas económicas contemporáneas, el concepto de cooperación estratégica entre agentes se ha vuelto esencial para comprender los mecanismos que favorecen el crecimiento sostenido, la innovación y la competitividad territorial. La teoría de juegos cooperativos, como marco teórico y matemático, ofrece herramientas poderosas para analizar situaciones en las que actores interdependientes deciden coordinar sus acciones para alcanzar un objetivo común que no sería posible o eficiente lograr de manera individual. En este contexto, la conformación de clústeres económicos —entendidos como concentraciones geográficas de empresas, proveedores, instituciones y organizaciones interrelacionadas que desarrollan actividades similares o complementarias— puede modelarse como un juego cooperativo, en el que los participantes forman coaliciones estables para maximizar beneficios colectivos.

La noción de clúster, desarrollada e impulsada por Michael Porter en la década de los noventa, se refiere a sistemas productivos organizados en torno a una actividad económica central, que se potencian mutuamente mediante externalidades positivas, competencia local, cooperación institucional y sinergias tecnológicas. Desde la teoría de juegos, estos conglomerados empresariales pueden entenderse como estructuras cooperativas en las que múltiples jugadores (empresas, universidades, centros de investigación, entidades gubernamentales, etc.) colaboran para generar un valor agregado colectivo mayor al que podrían alcanzar actuando por separado. Este valor puede estar representado en términos de productividad, acceso a mercados, transferencia de conocimiento, innovación tecnológica, reducción de costos o aumento del capital social.

La aplicación del enfoque cooperativo en este contexto implica el análisis de cómo se constituyen las coaliciones dentro del clúster, cómo se distribuyen los beneficios derivados

de la cooperación, qué incentivos existen para mantenerse en la coalición y qué mecanismos permiten sostenerla en el tiempo. Este análisis parte de la función característica del juego, que asigna a cada subconjunto de jugadores un valor asociado a su cooperación, y se extiende al estudio del núcleo, el valor de Shapley y otras soluciones cooperativas que orientan la gobernanza y eficiencia del clúster.

Clústeres como coaliciones cooperativas

En los juegos cooperativos, el conjunto de jugadores N={1,2,...,n}N = \{1, 2, ..., n\} representa a los agentes que pueden formar coaliciones para alcanzar metas comunes. A cada coalición S⊆NS \subseteq N se le asigna un valor v(S)v(S), que indica el resultado neto de la cooperación entre sus miembros. En el caso de los clústeres, NN incluye no solo empresas, sino también proveedores, instituciones educativas, centros de investigación, asociaciones gremiales, organismos del Estado y plataformas de intermediación. La función característica v(S)v(S) mide el valor que cada conjunto de actores puede generar conjuntamente mediante su interacción, sinergia, intercambio de información o desarrollo conjunto de proyectos.

Este modelo permite representar formalmente los beneficios de la cooperación territorial. Por ejemplo, un grupo de empresas del sector agroindustrial en una región puede incrementar su productividad al compartir proveedores, mejorar la logística, establecer normas comunes de calidad, y acceder conjuntamente a mercados internacionales con marcas colectivas. En términos formales, si v({A,B})=80v(\{A,B\}) = 80, v({A,C})=90v(\{A,C\}) = 90, y v({A,B,C})=150v(\{A,B,C\}) = 150, significa que la coalición completa alcanza un mayor valor cooperativo que las subcoaliciones, incentivando la formación de un clúster integral.

Además, esta cooperación es sostenible en la medida en que se respeten las condiciones de racionalidad individual (cada jugador recibe al menos lo que obtendría por su cuenta) y estabilidad de la coalición (no hay subconjuntos con incentivos a separarse). Estas condiciones se pueden verificar mediante la solución del núcleo o el valor de Shapley, que proporcionan criterios de reparto justo y estable de los beneficios generados en el clúster.

Ejemplo teórico: clúster de confecciones

Consideremos un clúster emergente del sector de confecciones en una ciudad intermedia, compuesto por tres tipos de actores:

- E1E_1: productores textiles (fábricas),
- E2E_2: diseñadores y comercializadores,
- E3E_3: entidades de apoyo (universidades y centros de innovación).

Supongamos que cada actor por separado tiene una capacidad limitada para innovar, acceder a mercados internacionales o adaptarse a las tendencias del mercado. La cooperación puede producir sinergias importantes, como desarrollo conjunto de productos, formación de capital humano, estrategias de internacionalización o redes logísticas compartidas. La función característica del juego podría ser:

- v({E1})=20v(\{E_1\}) = 20,
- v({E2})=25v(\{E_2\}) = 25,
- v({E3})=15v(\{E_3\}) = 15,
- v({E1,E2})=60v(\{E_1,E_2\}) = 60,
- v({E1,E3})=55v(\{E_1,E_3\}) = 55,
- v({E2,E3})=50v(\{E_2,E_3\}) = 50,
- v({E1,E2,E3})=100v(\{E_1,E_2,E_3\}) = 100.

Aquí se observa que la coalición completa genera el mayor valor, y el objetivo estratégico sería definir un reparto (x1,x2,x3)(x_1, x_2, x_3) tal que:

- x1+x2+x3=100x_1 + x_2 + x_3 = 100 (eficiencia),
- xi≥v({i})x_i \geq v(\{i\}) para todo ii (racionalidad individual),
- x1+x2≥60x_1 + x_2 \geq 60, x1+x3≥55x_1 + x_3 \geq 55, x2+x3≥50x_2 + x_3 \geq 50 (estabilidad).

El valor de Shapley, que considera las contribuciones marginales promedio, puede arrojar una asignación como x1=35x_1 = 35, x2=40x_2 = 40, x3=25x_3 = 25, reflejando la importancia estratégica de los diseñadores en la comercialización, sin menospreciar el aporte de las otras entidades. Este análisis permite acordar fórmulas justas para distribuir los fondos de cooperación, el acceso a infraestructura compartida o el liderazgo en iniciativas estratégicas del clúster.

Gobernanza y compromiso colectivo

Uno de los elementos críticos en la sostenibilidad de los clústeres es el diseño de mecanismos de gobernanza cooperativa, que permitan la toma de decisiones colectivas, la implementación de estrategias compartidas y la resolución de conflictos internos. Desde la teoría de juegos, estas estructuras pueden analizarse mediante modelos de juegos repetidos y juegos secuenciales, en los que el historial de interacciones pasadas y las expectativas de comportamiento futuro influyen sobre la cooperación presente.

La cooperación exitosa requiere la existencia de compromisos creíbles entre los miembros del clúster. Esto implica pactos explícitos sobre reglas de participación, contribuciones, beneficios y responsabilidades, así como la creación de instituciones que hagan cumplir dichos compromisos. Los juegos con información perfecta permiten representar escenarios donde todos los jugadores conocen las acciones de los demás, lo cual refuerza la confianza mutua. En cambio, en los juegos con información imperfecta, la cooperación puede erosionarse si no existen mecanismos adecuados de monitoreo y verificación.

Por tanto, la sostenibilidad del clúster depende en buena medida de la capacidad de sus actores para diseñar y mantener acuerdos cooperativos estables, sostenidos por estructuras institucionales confiables y mecanismos de rendición de cuentas. La existencia de una entidad coordinadora del clúster, una gobernanza participativa, una agenda estratégica compartida y una infraestructura de apoyo son componentes claves para garantizar que el juego cooperativo no se deteriore por incentivos individuales o conflictos latentes.

Externalidades positivas y valor colectivo

Una de las características distintivas de los clústeres es la generación de externalidades positivas, es decir, beneficios que se extienden más allá de los jugadores directos. Estas pueden incluir mejoras en la calidad del empleo, fortalecimiento de la cadena de valor, atracción de inversiones, reputación territorial, transferencia tecnológica y dinamización del tejido empresarial.

Desde la teoría de juegos, estas externalidades pueden modelarse como aumentos en la función característica v(S)v(S), producto del ingreso de nuevos jugadores o del fortalecimiento institucional del entorno. Por ejemplo, la incorporación de una universidad de prestigio al clúster puede elevar el valor de todas las coaliciones en las que participe, al mejorar el capital humano disponible y facilitar la innovación. Esto genera un incentivo para que los actores clave promuevan activamente la inclusión y el fortalecimiento del ecosistema.

Además, los clústeres cooperativos pueden generar bienes públicos locales, como normas técnicas comunes, plataformas digitales de servicios compartidos, ferias internacionales, certificaciones colectivas, entre otros. Estos bienes públicos pueden ser modelados como beneficios indivisibles que fortalecen el valor total del juego, lo cual requiere acuerdos distributivos que compensen a los actores que invierten en su provisión.

Riesgos compartidos y resiliencia colectiva

La cooperación en clústeres también implica la distribución de riesgos, tanto operativos como estratégicos. Los choques externos, como crisis económicas, pandemias, cambios regulatorios o transformaciones tecnológicas, pueden impactar a todos los jugadores. Sin embargo, un clúster bien estructurado permite compartir información rápidamente, coordinar respuestas, activar redes de apoyo mutuo y adaptar colectivamente sus capacidades.

La teoría de juegos cooperativos permite modelar estos riesgos como disminuciones potenciales en el valor v(S)v(S), lo cual lleva a rediseñar las estrategias cooperativas para aumentar la resiliencia del sistema. Esto incluye establecer fondos solidarios, seguros colectivos, mecanismos de mutualización de pérdidas o planes de reconversión productiva.

El hecho de que las empresas no actúen solas, sino en red, incrementa la capacidad de absorción del riesgo sistémico. Además, las decisiones estratégicas compartidas permiten orientar el clúster hacia nichos de mercado emergentes, tecnologías disruptivas o políticas públicas de fomento. Así, el juego cooperativo se convierte en una herramienta clave de adaptación colectiva al entorno cambiante.

Integración territorial y desarrollo económico

Los clústeres no solo operan como estructuras empresariales, sino que articulan un ecosistema de actores territoriales que contribuyen al desarrollo económico local o regional. En este sentido, los juegos cooperativos ayudan a entender cómo diferentes niveles de gobierno, instituciones académicas, organizaciones sociales y actores productivos pueden formar coaliciones orientadas al bienestar común.

La cooperación interinstitucional en el marco del clúster se traduce en coaliciones multiagente que deben negociar objetivos, roles y recursos. El análisis cooperativo permite diseñar acuerdos que maximicen el valor colectivo, reduzcan conflictos interactor y fortalezcan la cohesión territorial. Así, la estrategia del clúster se convierte en una plataforma para generar sinergias entre el sector público, privado y social, con impactos positivos en la equidad, la inclusión y la sostenibilidad.

La teoría de juegos cooperativos proporciona un lenguaje formal y una estructura analítica para comprender la lógica interna de los clústeres como coaliciones estratégicas orientadas al desarrollo de actividades económicas. Al modelar los actores como jugadores que pueden generar valor colectivo mediante su cooperación, se hace evidente que la conformación, gobernanza y sostenibilidad de un clúster dependen de condiciones específicas de

racionalidad individual, estabilidad colectiva y compromiso creíble. Asimismo, se muestra que la cooperación no se limita a la obtención de beneficios inmediatos, sino que genera externalidades positivas, incrementa la resiliencia del sistema y articula capacidades heterogéneas en función del desarrollo económico. En este sentido, los clústeres no son simplemente conglomerados empresariales, sino formas avanzadas de organización colectiva que, cuando son gestionadas estratégicamente, permiten a los territorios adaptarse, competir e innovar en entornos altamente dinámicos y globalizados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aumann, R. J. (1959). Acceptable points in general cooperative n-person games. *Contributions to the Theory of Games*, 4, 287–324.
2. Aumann, R. J. (1987). Game theory. In *The New Palgrave: A Dictionary of Economics* (Vol. 2, pp. 460–482). Palgrave Macmillan.
3. Axelrod, R. (1984). *The evolution of cooperation*. Basic Books.
4. Barr, A., & Serra, D. (2010). Corruption and culture: An experimental analysis. *Journal of Public Economics*, 94(11–12), 862–869.
5. Binmore, K. (2007). *Playing for real: A text on game theory*. Oxford University Press.
6. Camerer, C. F. (2003). *Behavioral game theory: Experiments in strategic interaction*. Princeton University Press.
7. Castañeda, D., & Gómez, J. (2019). Alianzas público-privadas en América Latina: un análisis desde la teoría de juegos. *Revista de Economía Institucional*, 21(41), 79–104.
8. Chong, A., & López-de-Silanes, F. (2005). *Privatization in Latin America: Myths and reality*. Inter-American Development Bank.
9. Colman, A. M. (2003). Cooperation, psychological game theory, and limitations of rationality in social interaction. *Behavioral and Brain Sciences*, 26(2), 139–153.
10. Delmas, M. A., & Tokat, Y. (2005). Deregulation, governance structures, and efficiency: The US electric utility sector. *Strategic Management Journal*, 26(5), 441–460.
11. Dixit, A., & Nalebuff, B. (2008). *The art of strategy: A game theorist's guide to success in business and life*. Norton & Company.
12. Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G., & Soete, L. (Eds.). (1988). *Technical change and economic theory*. Pinter.

13. Epstein, J. M. (2007). *Generative social science: Studies in agent-based computational modeling*. Princeton University Press.
14. Fudenberg, D., & Tirole, J. (1991). *Game theory*. MIT Press.
15. Gibbons, R. (1992). *Game theory for applied economists*. Princeton University Press.
16. González, L. (2017). Uniones temporales como estrategia de competitividad. *Revista Ingeniería Industrial*, 8(1), 45–56.
17. Grossman, S. J., & Hart, O. D. (1986). The costs and benefits of ownership. *Journal of Political Economy*, 94(4), 691–719.
18. Hart, O., & Moore, J. (1990). Property rights and the nature of the firm. *Journal of Political Economy*, 98(6), 1119–1158.
19. Harsanyi, J. C. (1967). Games with incomplete information played by Bayesian players. *Management Science*, 14(3), 159–182.
20. Holmstrom, B., & Milgrom, P. (1991). Multitask principal-agent analyses. *Journal of Law, Economics, & Organization*, 7, 24–52.
21. Jackson, M. O. (2008). *Social and economic networks*. Princeton University Press.
22. Kagel, J. H., & Roth, A. E. (Eds.). (1995). *The handbook of experimental economics*. Princeton University Press.
23. Kogut, B. (1989). A note on global strategies. *Strategic Management Journal*, 10(4), 383–389.
24. Kreps, D. M. (1990). *Game theory and economic modelling*. Oxford University Press.
25. Laffont, J. J., & Martimort, D. (2002). *The theory of incentives: The principal-agent model*. Princeton University Press.
26. Levin, J., & Milgrom, P. (2004). Introduction to choice theory. *Stanford University Lecture Notes*.
27. Leyva, C. (2020). El clúster como estrategia territorial. *Estudios Regionales*, 45(3), 87–109.

28. MacMillan, K., & Tampoe, M. (2000). *Strategic management: Process, content, and implementation*. Oxford University Press.
29. Maskin, E., & Tirole, J. (2001). Markov perfect equilibrium. *Journal of Economic Theory*, 100(2), 191–219.
30. Myerson, R. B. (1991). *Game theory: Analysis of conflict*. Harvard University Press.
31. Nash, J. F. (1950). Equilibrium points in n-person games. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 36(1), 48–49.
32. North, D. C. (1990). *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge University Press.
33. Osborne, M. J., & Rubinstein, A. (1994). *A course in game theory*. MIT Press.
34. Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press.
35. Porter, M. E. (1998). Clusters and the new economics of competition. *Harvard Business Review*, 76(6), 77–90.
36. Porter, M. E. (1990). *The competitive advantage of nations*. Free Press.
37. Raiffa, H. (1982). *The art and science of negotiation*. Harvard University Press.
38. Rapoport, A. (1966). *Two-person game theory: The essential ideas*. University of Michigan Press.
39. Rodríguez, H., & López, J. (2018). Clúster, competitividad y territorio. *Revista Economía y Región*, 13(1), 23–42.
40. Roth, A. E. (2002). The economist as engineer: Game theory, experimentation, and computation as tools for design economics. *Econometrica*, 70(4), 1341–1378.
41. Rubinstein, A. (1991). Comments on the interpretation of game theory. *Econometrica*, 59(4), 909–924.
42. Samuelson, L. (1997). *Evolutionary games and equilibrium selection*. MIT Press.
43. Schelling, T. C. (1960). *The strategy of conflict*. Harvard University Press.
44. Sen, A. (1977). Rational fools: A critique of the behavioral foundations of economic theory. *Philosophy & Public Affairs*, 6(4), 317–344.

45. Shapley, L. S. (1953). A value for n-person games. In Kuhn, H. W., & Tucker, A. W. (Eds.), *Contributions to the Theory of Games II* (pp. 307–317). Princeton University Press.
46. Simon, H. A. (1957). *Models of man: Social and rational*. Wiley.
47. Tirole, J. (1988). *The theory of industrial organization*. MIT Press.
48. Williamson, O. E. (1985). *The economic institutions of capitalism*. Free Press.
49. Zenger, T. R. (2002). Crafting internal market mechanisms. *Academy of Management Review*, 27(4), 610–628.
50. Zott, C., & Amit, R. (2007). Business model design and the performance of entrepreneurial firms. *Organization Science*, 18(2), 181–199.

FRANCISCO FABIANY MOLINA BUSTOS
MAGISTER EN TERRITORIO, CONFLLICTO Y CULTURA

Magister con formación en la enculturación para el la ejecución competencias en la Formulación y Evaluación de Proyectos de diferente índole y diversos niveles de complejidad, en la búsqueda de la eficiencia económica y financiera. Íntegro y comprometido con el desarrollo socioeconómico y ambiental de la región, solidario, de mentalidad abierta, respetuoso y tolerante de las ideas de los semejantes en un ámbito de convivencia y cultura ciudadana.

Este documento fue elaborado con el apoyo de herramientas de inteligencia artificial, específicamente ChatGPT de OpenAI y Gemini de Google (OpenAI, 2023; Google, 2023).

@EDUKIVOTOS